

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**CUSTO-BENEFÍCIO DO CONTROLE BIOLÓGICO *ON FARM* PARA O MANEJO
DAS PRINCIPAIS PRAGAS E DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA**

Denise Wochner

**DOURADOS-MS
2025**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CIÊNCIAS CONTÁBEIS E ECONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS**

**CUSTO-BENEFÍCIO DO CONTROLE BIOLÓGICO *ON FARM* PARA O MANEJO
DAS PRINCIPAIS PRAGAS E DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Administração, Ciências Contábeis e Economia, para a obtenção do título de Doutora em Agronegócios.

Área de Concentração: Agronegócios e Sustentabilidade.

Linha de Pesquisa: Bioeconomia.

Doutoranda: Denise Wochner

Orientadora: Prof^a Dr^a Madalena Maria
Schlindwein

Coorientador: Prof^o Dr^o Rui Manuel de Souza
Fragoso

**DOURADOS-MS
2025**

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

W837c Wochner, Denise

CUSTO-BENEFÍCIO DO CONTROLE BIOLÓGICO ON FARM PARA O MANEJO DAS PRINCIPAIS PRAGAS E DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA [recurso eletrônico] /

Denise Wochner. -- 2025.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Madalena Maria Schlindwein.

Coorientador: Rui Manuel de Souza Fragoso.

Tese (Doutorado em Agronegócios)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2025.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Agricultura sustentável. 2. bioeconomia. 3. bioinsumos. 4. controle biológico. 5. custo-benefício. I. Schlindwein, Madalena Maria. II. Fragoso, Rui Manuel De Souza. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

UF
GD Universidade
Federal
da Grande
Tererós

Dourados/MS, 03 de outubro de 2025.

gov.br

Prof. Dr. Paulo Henrique de Oliveira Hoekel
Membro Titular Interno

Prof.^a Dr.^a Camila da Silva Serra Cominetti
Membro Titular Externo

Pg. 1 de 1

AGRADECIMENTOS

A jornada da pós-graduação é um percurso desafiador que nos ensina, a cada passo, que nenhum objetivo grandioso é alcançado de forma solitária. A conclusão desta tese representa a colaboração de muitas pessoas a quem desejo expressar minha profunda gratidão.

Primeiramente, à minha família. Aos meus pais, pelo amor incondicional e por todo o suporte. À minha mãe, por ser meu porto seguro em todos os momentos. Ao meu pai, por inspirar em mim a busca incansável por uma agricultura mais sustentável. Aos meus irmãos, cunhados e sobrinhos, pelo carinho constante e por estarem sempre disponíveis para me apoiar. Vocês são a base de tudo, e sou grata por cuidarem de mim. Ao meu esposo, Felipe, cujo incentivo em todas as minhas decisões foi fundamental. Sua parceria tornou a experiência do Doutorado Sanduíche em Portugal mais leve e produtiva.

Agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Madalena Maria Schlindwein, por todo o incentivo, paciência e palavras de carinho em momentos difíceis. Sua orientação entusiasta foram essenciais para o desenvolvimento deste estudo. Ao professor Rui Fragoso, por me acolher tão carinhosamente em Portugal e por suas valiosas contribuições para a minha pesquisa.

Esta tese não seria possível sem a colaboração daqueles que abriram as portas para a pesquisa de campo. Ao Antonio Schneid, por ceder a área experimental e por compartilhar seu conhecimento, incentivando meu trabalho. À equipe da Ascaa Assistência Agronômica, por fornecer as informações essenciais para a condução do experimento. Ao Alander, por sua ajuda na condução do experimento e por seu vasto conhecimento empírico em Controle Biológico, que foi de grande valia.

Aos colegas e amigos do doutorado, meu muito obrigada. Em particular, à Lethicia, pela generosidade e por impulsionar meu crescimento acadêmico e profissional. Ao Afonso, por compartilhar a experiência do Doutorado Sanduíche e por manter nossa amizade viva após o retorno.

Por fim, estendo meus agradecimentos à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), cujo financiamento por meio do Código 001 foi crucial para a realização desta pesquisa e para a obtenção do título de Doutora em Agronegócios. A todos que, de alguma forma, estiveram ao meu lado nesta conquista, minha eterna gratidão.

CUSTO-BENEFÍCIO DO CONTROLE BIOLÓGICO ON FARM PARA O MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA

Resumo: Com o intuito de atender à demanda dos agricultores e consumidores por uma agricultura com menor utilização de agroquímicos, que acarretam danos ambientais, como a intoxicação humana, a contaminação do solo, dos rios e a redução das populações de insetos benéficos para a agricultura, como parasitoides e predadores, têm sido conduzidos diversos estudos para avaliar a eficiência do controle biológico como uma opção sustentável de manejo na agricultura. Entretanto, são escassos os estudos que analisam o custo-benefício de práticas alternativas de manejo. O objetivo deste estudo é comparar o custo-benefício da adoção do Controle Biológico *On Farm* em relação ao Manejo Integrado (MI) e ao Manejo Convencional na cultura da Soja, na região de Maracaju-MS, durante as safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025. Dessa forma, pretende-se com este estudo, auxiliar os produtores rurais na tomada de decisão sobre qual manejo de pragas e doenças apresenta o melhor custo-benefício, além de incentivar a comunidade científica a realizar mais estudos de viabilidade econômica acerca da utilização do controle biológico *On Farm* para o manejo de pragas e doenças. Isso contribuirá para promover uma agricultura sustentável e com menor impacto ao meio ambiente. Este estudo visa, sobretudo, atender aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS 02 – Fome zero e agricultura sustentável; ODS 12 – Consumo e produção responsáveis e ODS 15, que diz respeito à preservação da vida terrestre.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, bioeconomia, bioinsumos, controle biológico, custo-benefício.

Abstract: *With the aim of meeting the demand from farmers and consumers for agriculture that uses fewer agrochemicals, which cause environmental damage such as human poisoning, contamination of soil and rivers, and the reduction of populations of insects beneficial to agriculture, such as parasitoids and predators, various studies have been conducted to evaluate the efficiency of biological control as a sustainable management option in agriculture. However, studies analyzing the cost-benefit of alternative management practices are scarce. The objective of this study is to compare the cost-benefit of adopting On-Farm Biological Control in relation to Integrated Pest Management (IPM) and Conventional Management in Soybean cultivation, in the region of Maracaju-MS, during the 2022/2023, 2023/2024, and 2024/2025 harvests. Thus, this study intends to assist rural producers in making decisions about which pest and disease management offers the best cost-benefit, in addition to encouraging the scientific community to conduct more economic viability studies on the use of On-Farm Biological Control for pest and disease management. This will contribute to promoting sustainable agriculture with less environmental impact. Above all, this study aims to address the Sustainable Development Goals (SDGs): SDG 02 – Zero Hunger and Sustainable Agriculture; SDG 12 – Responsible Consumption and Production; and SDG 15, which concerns the preservation of life on land.*

Keywords: *Sustainable agriculture, bioeconomy, bio-inputs, biological control, cost-benefit.*

SUMÁRIO

CUSTO-BENEFÍCIO DO CONTROLE BIOLÓGICO ON FARM PARA O MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS NA CULTURA DA SOJA	6
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS	12
1. Introdução Geral.....	12
1.1. Objetivos	16
1.2. Hipóteses	17
1.3. Estrutura da Tese.....	17
Referências	19
CAPÍTULO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA E CUSTO DE OPORTUNIDADE DE UNIDADES DE MULTIPLICAÇÃO DE MICRORGANISMOS ON FARM PARA O MANEJO DE PRAGAS DA SOJA NO BRASIL	22
1. Introdução	22
2. Materiais e Métodos	27
2.1. Delineamento do estudo	27
2.2. Dados de Investimento para análise de viabilidade econômica	28
2.3. Custos dos Manejos: Convencional, Integrado e Biológico <i>On Farm</i>	29
2.4. Custo de oportunidade.....	30
3. Resultados e Discussão	30
3.1. Custos de implantação e produção da Unidade de Multiplicação na Safra 22/23.	30
3.2. Custos dos manejos: Convencional, Biológico <i>On Farm</i> e Integrado. ...	33
3.3. Custos de oportunidade	41
4. Considerações Finais	44
Referências	46
CAPÍTULO 3 - CUSTO-BENEFÍCIO, DOS MANEJOS DE PRAGAS: CONTROLE BIOLÓGICO ON FARM, MANEJO INTEGRADO E MANEJO CONVENCIONAL	50
1. Introdução	50
2. Revisão bibliográfica	52
2.1. Controle Biológico	52
2.2.1. Microrganismos entomopatogênicos.....	54
2.2.2. Fungos entomopatogênicos	54
2.2.3. Bactérias entomopatogênicas	55
2.2.4. <i>Compost tea</i>	56
3. Material e Métodos.....	57
3.1. Campo Experimental.....	57
3.1.1. Experimento - Safras de Soja 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025	58
3.1.2. Delineamento experimental	58

3.1.3. Preparo do solo e plantio	61
3.1.4. Análise da estrutura biológica do solo	61
3.1.5. Manejos de pragas e doenças	61
3.1.6. Avaliações de pragas e doenças	65
3.1.7. Avaliações da produtividade e análise estatística	65
3.2. Viabilidade econômica	66
4. Resultados e Discussão	66
4.1. Exigências térmicas e hídricas	66
4.2. Avaliação da estrutura biológica do solo, análise BioAs Fertbio.	69
4.3. Avaliação de pragas e doenças	78
4.4. Avaliação da produtividade	83
4.5. Análise econômica: manejos e cultivares	88
5. Considerações finais	91
Referências	93
CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL E ECONÔMICO DOS MANEJOS: BIOLÓGICO ON FARM, INTEGRADO E CONVENCIONAL NA SOJA	100
1. Introdução	100
2. Revisão bibliográfica	102
2.1. Agroquímicos e suas externalidades	102
2.2. Métodos alternativos para o controle de pragas e doenças	104
2.3. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)	105
3. Materiais e Métodos	106
3.1. Inventário dos manejos de pragas e doenças	107
3.2. Avaliação dos impactos ambientais	107
3.3. Avaliação dos impactos econômicos	107
4. Resultados e Discussão	108
4.1. Avaliação ambiental dos manejos de pragas e doenças na soja	108
4.2. Avaliação econômica dos manejos de pragas e doenças na soja	115
5. Conclusões	116
Referências	119
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	122

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Custos com obra civil e equipamentos para implantação da Unidade de Multiplicação.....	31
Tabela 2. Matéria-prima e material utilizado para a multiplicação <i>On Farm</i> de agentes biológicos para a Soja safra 2022/2023.	33
Tabela 3. Custos por dosagem, para o controle de pragas e doenças no Manejo Convencional.....	34
Tabela 4. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico <i>On Farm</i> , referente ao 1º ano com custos do investimento.	35
Tabela 5. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico <i>On Farm</i> , referente ao 2º ano.	36
Tabela 6. Custos por litro produzido, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico <i>On Farm</i> , referente ao material do biorreator no investimento.	37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização do município de Maracaju, estado de Mato Grosso do Sul. ...	28
Figura 2. Croqui do campo experimental Safra 2022/2023, com a descrição das cultivares e manejos em cada bloco de plantio.	59
Figura 3. Croqui do campo experimental Safras 2023/2024 e 2024/2025, com a descrição das cultivares e manejos em cada bloco de plantio.	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida
ANOVA - Análise de Variância
Aprosoja MS - Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul
ARIL - Arilsulfatase
BA – Bahia
BETA - Beta-Glicosidase
BIO – Biológico
BIOAS - Tecnologia de Bioanálise do Solo
CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CH₄ - Metano
CM – Centímetros
CO – Custo de Oportunidade
CO_{2eq} – Dióxido de carbono equivalente
COM – Convencional
CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento
DDT - Diclorodifeniltricloroetano
EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EUA – Estados Unidos da América
FERTBIO - Fertilidade química e biológica do solo
GAAS – Grupo Associado de Agricultura Sustentável
GEE – gases de efeito estufa
GO – Goiás
HA - Hectare
IQS - Índice de Qualidade do Solo
INT – Integrado
ISO - Organização Internacional de Normalização
KCL – Cloreto de Potássio
KG – Quilograma
LT – Litro
M – Metros
MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento
MB – Manejo Biológico
MG – Minas Gerais
MI – Manejo Integrado
MIP – Manejo Integrado de Pragas
MM – Milímetros
MOS - Matéria Orgânica do Solo
MQ – Manejo Químico
MS – Mato Grosso do Sul
NBR – Norma brasileira
NH₃ - Amônia
N₂O – Óxido Nitroso
ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PIB - Produto Interno Bruto
SC – Sacas
SO₂ - Dióxido de Enxofre

CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1. INTRODUÇÃO GERAL

A soja (*Glycine max*) é globalmente cultivada por sua relevância nutricional, econômica e versatilidade (Contini; Aragão, 2021). O Brasil, líder mundial, expandiu a área plantada para 43 milhões de hectares e produziu 154 milhões de toneladas com 58,86 sacas/hectare na safra 2022/2023 (Conab, 2023). Em 2023/2024, foram mais de 46 milhões de hectares, 147 milhões de toneladas e 53,35 sacas/hectare. Projeções para 2024/2025 indicam 47 milhões de hectares, 168 milhões de toneladas e 58,93 sacas/hectare. No estado de Mato Grosso do Sul, a safra 2024/2025 registrou 4 milhões de hectares e produtividade de 53 sacas/hectare (Conab, 2025).

Para atender à demanda e sustentar a alta produtividade da soja, o controle de pragas e doenças é indispensável. O ataque de pragas é um dos principais fatores de redução da produtividade (Poveda et al., 2021). As pragas mais relevantes incluem o complexo de lagartas, como espécies de *Spodoptera* (*S. cosmioides*, *S. eridania*, *S. frugiperda*), e insetos sugadores, como os percevejos (*Euschistus heros*, *Nezara viridula*, *Piezodorus guildinii*, *Diceraeus furcathus*, *Diceraeus melacanthus*) (Nanzer et al., 2021). Os danos causados por esses insetos afetam todas as fases do desenvolvimento da cultura (Grigolli, 2018).

O ataque de insetos pode causar perdas de até 70% na produção agrícola em climas tropicais, com uma média global de 18% a 25% devido a pragas emergentes ou reemergentes (Manosathiyadevan et al., 2017; Savary et al., 2019). Para combater essas perdas, agroquímicos foram desenvolvidos para proteger as culturas e aumentar a produtividade. No entanto, a adaptação e resistência das pragas exigem o uso crescente de maiores quantidades e novos compostos, resultando em contaminação ambiental. Assim, o uso criterioso de agroquímicos é fundamental (Bandara; Kulatunga, 2014; Khan et al., 2010).

Para o controle de pragas, em sua grande maioria, utilizam-se os agroquímicos. Em nível global, o uso total de agroquímicos é de 4,12 milhões de toneladas por ano. A aplicação mundial de agroquímicos por área de terras agrícolas foi de 2,63 kg/ha em 2018. A Ásia é o principal contribuinte para o uso global de agroquímicos, respondendo por mais de 50% do total mundial em 2018. Os três maiores usuários de

agroquímicos em 2021 foram o Brasil (719,5 mil toneladas), os Estados Unidos e a América (457 mil toneladas) e China (244 mil toneladas) (FAO, 2023).

No Brasil o consumo tem sido superior a 300 mil toneladas de produtos comerciais. O que representa um aumento no consumo de agroquímicos de 700% nos últimos quarenta anos, enquanto a área agrícola aumentou 78% nesse período (Embrapa, 2021). De acordo com a Embrapa (2021), o consumo de agroquímicos no Brasil tem sido maior na região Sudeste (38%), seguida pelo Sul (31%) e Centro-Oeste (23%). O consumo de agroquímicos na região Centro-Oeste aumentou nas décadas de 1970 e 1980 devido à ocupação dos Cerrados e continua crescendo pelo aumento da área plantada de Soja e algodão nessa região. Considerando as áreas com plantio de grãos no mesmo período, o estado de Mato Grosso está em primeiro lugar, seguindo do Paraná, Rio Grande do Sul, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo (Conab, 2023).

A utilização de agroquímicos representa um risco significativo de contaminação para corpos d'água, incluindo reservatórios, rios e bacias fluviais, impactando diretamente a vida aquática (Souza et al.; Machado et al.; Vieira et al., 2016; Lopes; Albuquerque, 2018). Um estudo em São Paulo (Sanches et al., 2017) demonstrou que peixes são particularmente vulneráveis à intoxicação por exposição a múltiplos agroquímicos presentes simultaneamente na água. Além da contaminação ambiental, práticas agrícolas inadequadas também resultam na exposição de trabalhadores rurais e na presença de resíduos de agroquímicos nos alimentos, levantando sérias preocupações para a saúde pública (Jorge et al., 2020).

Nas últimas décadas, diversas alternativas eficazes e ecologicamente corretas para o controle de pragas, como o uso de microrganismos, têm sido desenvolvidas (Pretty; Bharucha, 2015). Essa abordagem tem gerado interesse de multinacionais na produção de bioinseticidas. Apesar dos desafios, o controle microbiano de pragas representa uma área de pesquisa em rápido crescimento na entomologia, com impacto crescente nos setores agrícola e industrial (Almeida et al., 2019).

Em 2020, o MAPA – Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento, bateu o recorde de registros de produtos fitossanitários sustentáveis. Esse avanço decorreu de esforços de todo o setor e do lançamento do Programa Nacional de Bioinsumos, que alavanca as iniciativas de inovação e de desenvolvimento de novos bioinsumos (Brasil, 2021). Em 2022, foram registrados 136, em 2023 foram 90 registros e, em 2024 totalizaram 106 registros de produtos Bio (biolológicos+orgânicos) da classe IV,

considerados de baixo risco por serem improváveis de causar danos aos humanos e meio ambiente (MAPA, 2025).

Os praticantes de biocontrole podem ajudar a promover o controle biológico, comunicando os benefícios de seu trabalho, não apenas na literatura científica, mas também verbalmente e em publicações populares. Em ecossistemas naturais, o resultado de um programa de controle biológico bem-sucedido pode ser a restauração ecológica ou evitar danos ambientais causados pelos agroquímicos (Heimpel et al., 2013).

Tecnologias usando nenhum ou menos agroquímicos podem agregar valor aos produtos agrícolas e ao meio ambiente e, assim, abrir novas oportunidades para vender estes produtos produzidos de maneira mais sustentável. Estudos comparando como os consumidores europeus valorizam o Manejo Integrado em comparação com os produtos cultivados convencionalmente, mostraram que os consumidores estão dispostos a pagar preços mais altos pelos produtos produzidos com o Manejo Integrado. No entanto, o prêmio de preço observado geralmente é bastante baixo (Lefebvre et al., 2015).

Dentre os benefícios da adoção do controle biológico estão: A especificidade e segurança ambiental, pois são altamente específicos, reduzindo o risco para o ambiente e a água. Evita o acúmulo de resistência, mantendo sua eficácia ao longo do tempo. O uso de agentes biológicos ajuda a preservar a biodiversidade e promover a recuperação de ecossistemas naturais. Além de oferecer um retorno positivo do investimento, sendo uma opção econômica e sustentável (Holmes et al., 2016; Jorge et al., 2020).

Os praticantes de controle biológico muitas vezes não são eficazes em demonstrar os benefícios financeiros destes métodos. A recomendação é que os profissionais de biocontrole envolvam economistas, cientistas sociais e partes interessadas para que os benefícios sociais, econômicos e ambientais desejados possam ser definidos. Isso ajudará a demonstrar de forma clara e abrangente o valor social, ambiental e financeiro para os produtores e outras partes interessadas (Barrat et al., 2018).

A falha em reconhecer e distribuir os custos externos dos agroquímicos pode resultar em balanços inadequados de custos líquidos e benefícios das decisões de uso destes produtos. Existe uma grande dificuldade para calcular custos externos do uso de agroquímicos e suas variadas formulações (Leach; Mumford, 2008).

São necessárias mais pesquisas acerca da análise de custo-benefício do manejo de pragas e doenças que causem menos danos ao meio ambiente e a saúde humana, com o objetivo de difundir essa prática entre pesquisadores e produtores rurais, visando a adoção de medidas sustentáveis. A partir disso, surge a seguinte questão de pesquisa: Qual é a relação custo-benefício da utilização do controle biológico *On Farm* no manejo das principais pragas e doenças na cultura da Soja?

Pesquisas de campo estão sendo realizadas, com o objetivo de avaliar a eficiência agrônômica do controle biológico *On Farm*. A exemplo disso, Rotili Junior (2022), realizou um estudo no estado do Rio Grande do Sul, comparando o manejo de pragas e doenças na Soja, utilizando o manejo convencional e o manejo biológico *On Farm*. Foram realizadas três aplicações de químicos e três de biológicos, calendarizadas e, os resultados do estudo demonstraram que a produtividade da Soja com tratamento biológico foi 36% menor, se comparado ao químico.

Barbosa (2022), em seu estudo na cultura do café no estado de Minas Gerais, também comparou o manejo de pragas químico x biológico *On Farm*. Foram realizadas três aplicações em cada manejo, calendarizadas e os resultados agrônômicos demonstraram que não houve diferença estatística entre os manejos. E, o tratamento *On Farm* apresentou um custo 64,8% inferior ao do tratamento químico.

Este estudo se diferencia dos demais, por analisar não só a eficiência agrônômica, mas também a viabilidade econômica e o impacto ambiental nos três manejos de pragas e doenças na Soja. Apresentando um estudo completo destes manejos.

Este estudo, atende diversas ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com destaque para a ODS 02 – Fome zero e agricultura sustentável: Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável ; ODS 12 – Consumo e produção responsáveis: Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis e ODS 15 – Vida terrestre: proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da Terra e deter a perda da biodiversidade.

Nesse contexto, a pesquisa se coloca como inédita e justifica-se na medida em que se propõe a sugerir uma alternativa ambientalmente e economicamente viável para o controle de pragas e doenças na cultura da Soja. Diante da importância

econômica da Soja no cenário nacional, pretende-se promover uma agricultura mais sustentável.

1.1. Objetivos

O objetivo geral da tese foi analisar o custo-benefício do controle biológico *On Farm* para o manejo de pragas e doenças na cultura da Soja no estado de Mato Grosso do Sul.

Especificamente, pretendeu-se:

- I. Identificar o custo de oportunidade da implantação de uma unidade de multiplicação de fungos e bactérias na propriedade rural, comparando os manejos Biológico *On Farm*, Manejo Integrado e Manejo Convencional.
- II. Avaliar o custo-benefício dos manejos de pragas: Biológico *On Farm*, Manejo Integrado e Manejo Convencional, identificando qual manejo é mais atrativo economicamente ao produtor.
- III. Analisar o Custo Ambiental do Ciclo de Vida dos três manejos de pragas e doenças, identificando os impactos ambientais dos diferentes manejos na Soja.

A estrutura metodológica desta tese foi planejada para que os objetivos específicos se integrassem, permitindo uma análise abrangente do custo-benefício do manejo *On Farm* no controle de pragas e doenças da soja e, assim, alcançando o objetivo geral da pesquisa. O primeiro objetivo específico, ao avaliar o custo de oportunidade da implantação de uma unidade de multiplicação de fungos e bactérias na propriedade rural, estabeleceu a base financeira para a investigação. Ao determinar o potencial de rentabilidade da produção própria de bioinsumos, este estudo forneceu o ponto de partida necessário para a análise comparativa com outros manejos, validando a premissa de que a prática é economicamente atrativa.

Na sequência, o segundo objetivo específico aprofundou essa análise, comparando o desempenho agrônomo e econômico do manejo *On Farm* com os manejos integrado e convencional. Os resultados obtidos em campo permitiram quantificar o custo-benefício de cada estratégia, revelando qual delas proporciona o maior retorno financeiro por meio da produtividade e da receita líquida, e respondendo diretamente à pergunta central da tese sobre a superioridade do manejo *On Farm*.

Por fim, o terceiro objetivo específico expandiu a perspectiva da pesquisa, incorporando a dimensão da sustentabilidade. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) foi empregada para avaliar os impactos ambientais de cada manejo, completando a análise de custo-benefício com uma visão holística que vai além dos aspectos puramente econômicos. Dessa forma, foi possível não apenas identificar a estratégia mais vantajosa financeiramente, mas também aquela que minimiza os impactos negativos ao meio ambiente.

Em conjunto, esses três objetivos específicos se interligam para fornecer uma compreensão abrangente do tema. Eles criam uma narrativa que parte da viabilidade inicial de uma tecnologia, aprofunda-se na sua performance econômica e culmina na sua avaliação ambiental, formando um estudo robusto e multidimensional que atende plenamente ao objetivo geral desta tese.

1.2. Hipóteses

A hipótese central é que o O Manejo com Controle Biológico *On Farm* proporciona maior lucratividade e sustentabilidade em comparação ao Manejo Integrado (MI) e Manejo Convencional na cultura da soja. E, como hipótese secundária, que o Manejo Integrado (MI), quando comparado ao Manejo Convencional apresenta melhor desempenho agrônômico e viabilidade econômica na cultura da soja.

1.3. Estrutura da Tese

A Tese está dividida em cinco capítulos, sendo este o primeiro onde apresenta-se uma introdução geral acerca da pesquisa. E os três capítulos seguintes correspondem aos três objetivos específicos em que cada capítulo se tornará um artigo. Os três objetivos específicos foram estruturados de forma complementar para responder ao objetivo geral da tese. E, por fim, no quinto capítulo apresentam-se as considerações finais. Para atender ao primeiro objetivo específico, foram levantados os custos de implantação de unidade de multiplicação, simulando diferentes tamanhos de propriedades rurais. Foram levantados os custos dos manejos Convencional e Biológico *On Farm*, e por fim, foi comparado o custo de oportunidade na substituição do manejo convencional pelo biológico *On Farm*.

Para atender ao segundo objetivo específico, foi realizado um experimento de campo, com blocos casualizados, fatorial 3x3, comparando a eficiência agrônômica dos manejos Convencional, Integrado e Biológico *On Farm* em três cultivares diferentes, durante três safras seguidas. Foram avaliados o ataque das principais pragas e doenças, além da produtividade, em cada manejo e cultivar. Os dados foram tabulados e analisados no *Software R*. Foram também analisados os custos de cada manejo, a partir dos produtos e dosagens utilizados, os dados foram tabulados no Microsoft Excel®, para comparar qual manejo é mais atrativo economicamente ao produtor rural.

E, para atender ao terceiro objetivo específico, foi realizado o inventário dos componentes utilizados nos manejos de pragas e doenças que contemplaram o ciclo da Soja, referente ao experimento de campo deste estudo, comparando os produtos utilizados em cada manejo. Foi avaliado o impacto ambiental em cada manejo para identificar os possíveis benefícios ambientais da adoção do Controle Biológico *On Farm*, conectando assim a análise econômica e agrônômica à sustentabilidade ambiental.

Dessa forma, a tese aborda o tema de forma holística: avaliando primeiramente a viabilidade econômica, depois a eficiência no campo e, por fim, os benefícios ambientais, comparando os três manejos.

Como contribuição, destaca-se que os resultados desta pesquisa poderão ser utilizados para o esclarecimento de dúvidas quanto ao desempenho agrônômico e viabilidade econômica do controle biológico *On Farm*, podendo assim, promover uma agricultura mais sustentável, principalmente no objeto deste estudo que é a cultura da Soja.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, José Eduardo Marcondes; LEITE, Luís Garrigós; BATISTA FILHO, Antonio. Entomopathogenic Fungi. **Natural Enemies of Insect Pests in Neotropical Agroecosystems: Biological Control and Functional Biodiversity**, p. 223-233, 2019.

BANDARA, P. T.; KULATUNGA, W. M. D. H. Using the crop clinic concept to minimize the indiscriminate use of pesticides and promoting effective, judicious pesticide use. **Sri Lanka Plant Protection Industry Journal**, v. 8, p. 39-44, 2014.

BARBOZA, Natacha Salvador da Cunha Barboza. Eficiência de produtos biológicos comerciais e multiplicados *on farm* no controle de pragas e doenças no cafeeiro. 2022. Disponível em <<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/36156/3/Efici%c3%aanciaProdutosBiol%c3%b3gicos.pdf>> Acesso em: 10 ago. 2023.

BARRATT, B. I. P., MORAN, V. C., BIGLER, F., & VAN LENTEREN, J. C. The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. **BioControl**, v. 63, p. 155-167, 2018.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Bioinsumos. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>>. Acesso em: 08 ago. 2022.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos. Safra 2022/2023 8º levantamento, maio/2023. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 08 out. 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos. Safra 2024/2025 8º levantamento, maio/2025. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 05 jun. 2025.

CONTINI, Elisio; ARAGÃO, Adalberto. O Agro Brasileiro alimenta 800 milhões de pessoas. **Brasília: Embrapa**, 2021. Disponível em <<https://agroemdia.com.br/wp-content/uploads/2021/03/Populacao-alimentada-pelo-Brasil.pdf>> Acesso em: 19 jul 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Tecnologias. Aplicativo bioinsumos. 2020. Disponível em <<https://www.embrapa.br/en/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/7227/aplicativo-bioinsumos>> Acesso em: 02 jan. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agroquímicos no Brasil. Agricultura e Meio Ambiente. Embrapa. 2021. Disponível em <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil#:~:text=Expresso%20em%20quantidade%20de%20ingrediente,agr%C3%ADcola%20aumentou%2078%25%20nesse%20per%C3%ADodo.>>> Acesso em: 10 set. 2022.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. Pesticides use. Global, regional and country trends 1990-2021. Pesticides Use. 2023.

GRIGOLLI, J.F. J.; GRIGOLLI, M.M.K. Pragas da Soja e seu controle. **Tecnologia e Produção: Soja 2017/2018**, p. 138-156, 2018.

HEIMPEL, George E. et al. Environmental consequences of invasive species: greenhouse gas emissions of insecticide use and the role of biological control in reducing emissions. **PLoS One**, v. 8, n. 8, p. e72293, 2013.

JORGE, D. M.; SILVA, F. A.; SOUSA, I. M. M. Regulamentação da pesquisa e do registro de produtos de controle biológico. **Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília: Embrapa**, p. 453-479, 2020.

KHAN, Muhammad Jamil; ZIA, Muhammad Sharif; QASIM, Muhammad. Use of pesticides and their role in environmental pollution. **World Acad Sci Eng Technol**, v. 72, p. 122-128, 2010.

HOLMES, L.; UPADHYAY, D.; MANDJINY, S. Biological control of agriculture insect pests. **European Scientific Journal**, Special Edition, p. 228-37, 2016.

LEACH, A. W.; MUMFORD, J. D. Pesticide environmental accounting: a method for assessing the external costs of individual pesticide applications. **Environmental pollution**, v. 151, n. 1, p. 139-147, 2008.

LEFEBVRE, Marianne; LANGRELL, Stephen RH; GOMEZ-Y-PALOMA, Sergio. Incentives and policies for integrated pest management in Europe: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, p. 27-45, 2015.

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

MACHADO, Carolina S. et al. Chemical contamination of water and sediments in the Pardo River, São Paulo, Brazil. **Procedia engineering**, v. 162, p. 230-237, 2016.

MANOSATHIYADEVAN, Manoharan; BHUVANESHWARI, V.; LATHA, R. Impact of insects and pests in loss of crop production: a review. **Sustainable agriculture towards food security**, p. 57-67, 2017.

MAPA – Ministério da Agricultura, Agropecuária e Meio Ambiente. Agroquímicos. Registros julho 2025. Disponível em <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/agrotoxicos/informacoes-tecnicas>> Acesso em: 20 jul. 2025.

NANZER, SAMANTA LETÍCIA LOPES et al. Assessment of entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria to control the stink bugs *Euschistus heros*

and *Dichelops melacanthus* (Heteroptera: Pentatomidae) in the soybean-corn succession system. **Turkish Journal of Zoology**, v. 45, n. 8, p. 356-371, 2021.

POVEDA, Jorge. Trichoderma as biocontrol agent against pests: New uses for a mycoparasite. **Biological Control**, v. 159, p. 104634, 2021.

PRETTY, Jules; PERVEZ BHARUCHA, Zareen. Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. **Insects**, v. 6, n. 1, p. 152-182, 2015.

SANCHES, Ana Letícia Madeira et al. Single and mixture toxicity of abamectin and difenoconazole to adult zebrafish (*Danio rerio*). **Chemosphere**, v. 188, p. 582-587, 2017.

ROTILI JUNIOR, Rodrigo. Desempenho da cultura da Soja produzida com o uso de produtos químicos e biológicos *on farm* para o controle de pragas e doenças. 2022. Disponível em
<https://repositorio.uergs.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/2635/_tcc_ii_-_rodrigo_rotili_junior_final.pdf?sequence=-1&isAllowed=y> Acesso em: 14 ago. 2023.

SAVARY, Serge et al. The global burden of pathogens and pests on major food crops. **Nature ecology & evolution**, v. 3, n. 3, p. 430-439, 2019.

SOUZA, Brígida; VAZQUEZ, Luiz L.; MARUCCI, Rosangela C. Natural enemies of insect pests in neotropical agroecosystems. **Biological control and functional biodiversity. Springer, Cham**, v. 1, p. 546, 2019.

VIEIRA, Danielle Cristina et al. Ecological risk analysis of pesticides used on irrigated rice crops in southern Brazil. **Chemosphere**, v. 162, p. 48-54, 2016.

CAPÍTULO 2 - VIABILIDADE ECONÔMICA E CUSTO DE OPORTUNIDADE DE UNIDADES DE MULTIPLICAÇÃO DE MICRORGANISMOS ON FARM PARA O MANEJO DE PRAGAS DA SOJA NO BRASIL

Resumo: Este estudo de caso teve como objetivo avaliar o custo de oportunidade da implementação de uma unidade *On Farm* para multiplicação de fungos e bactérias entomopatogênicas para manejo de pragas e doenças na cultura da soja durante a safra 2022/2023. A simulação econômica analisa quatro modelos de unidade de multiplicação, atendendo produtores de 50, 200, 500 e 1.000 hectares. Para analisar os custos de investimento para implementação da unidade, foram estimados os custos de matéria-prima, mão de obra para multiplicação de agentes de controle biológico e os custos de inseticidas e fungicidas para o manejo convencional, abrangendo o ciclo completo da soja para a safra 2022/2023. Posteriormente, foram comparados os custos de controle de pragas e doenças na cultura da soja para o manejo Convencional, Integrado de Pragas e *On Farm* para identificar o custo de oportunidade na relação de troca entre as estratégias de manejo. Os resultados demonstram que a economia gerada pela escolha do controle biológico *On Farm* em comparação ao manejo convencional foi de aproximadamente 73% para 1.000 ha, 63% para 500 ha, 70% para 200 ha e 27% para 50 ha, considerando apenas o cultivo de soja na época de implantação da unidade de multiplicação.

Palavras-chave: Agricultura sustentável, bioinsumos, controle biológico, bioeconomia.

1. INTRODUÇÃO

Com cerca de 40% de proteína, a Soja é um alimento essencial na alimentação humana e animal, além de despertar considerável interesse como alternativa à carne na alimentação. Ainda que seja crucial combater a fome, não se pode negligenciar a importância de promover a saúde, optando por alternativas sustentáveis de produção (Penha *et al.*, 2014).

A Soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é originária no nordeste da China, com relatos depois de 1.100 a.C. Nos Estados Unidos, o primeiro relato é de 1765 e, em 1882, Gustavo D'Utra efetuou o primeiro cultivo de Soja no Brasil, porém o material genético, desenvolvido para climas frios ou temperados, não se adaptou às condições de produção da Bahia. Em 1891, cultivares de Soja foram testados no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC-SP) (Gazzoni, 2018).

O Brasil é o maior produtor de Soja do mundo, com a produção de 140,53 milhões de toneladas; seguido de Estados Unidos, com 120,48 milhões de toneladas; Argentina, com 51,50 milhões de toneladas; China, com 18,50 milhões de toneladas e Índia, com 11,03 milhões de toneladas na safra 2020/2021, de acordo com a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2021).

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento, CONAB (2023), na safra de 2022/2023 a produção de Soja brasileira atingiu uma área plantada de mais de 43 milhões de hectares, com um total de 151 milhões de toneladas produzidas e produtividade média de 57,98 sacas por hectare. Particularmente em Mato Grosso do Sul, a área plantada atingiu mais de 4 milhões de hectares, com a produtividade média de 58,86 sacas por hectare.

Apesar do amplo crescimento da cultura da Soja no Brasil, a produtividade média por hectare ainda apresenta desafios e oportunidades de melhorias. Um dos fatores que impedem não só a maximização da produção da cultura da Soja, mas também de muitas culturas, é a ocorrência de pragas e doenças (Martin *et al.*, 2020; Da Silva *et al.*, 2021; Basseto *et al.*, 2022).

Um estudo publicado na revista *Plant Disease* em 2019, mostrou que a ferrugem asiática da Soja é um dos principais fatores que afetam a produtividade desta cultura em muitos países, incluindo o Brasil, Estados Unidos, Argentina e China (Castroagudín *et al.*, 2019). Zhang *et al.*, (2019), em sua pesquisa realizada na China, mostrou que o ataque de insetos-praga pode levar a perdas de até 20% na produção de Soja, demonstrando a importância do acompanhamento e controle das pragas e doenças.

Os percevejos são as principais pragas que causam danos na cultura da Soja, se alimentando diretamente das vagens e afetando o rendimento e qualidade dos grãos. Este problema, vem aumentando a cada safra por diversos fatores como: ocorrência de elevadas populações do inseto, baixa adoção de monitoramento das pragas, evolução de populações resistentes a inseticidas e aplicações indiscriminadas de produtos que levam ao desequilíbrio e à ressurgência rápida destes insetos (Muller *et al.*, 2017).

Com o objetivo de diminuir a utilização de agroquímicos, foram desenvolvidas estratégias que compõem o manejo integrado de pragas e doenças. Estratégias essas que visam promover o equilíbrio e a saúde do agroecossistema, aplicando uma

combinação de medidas preventivas, culturais, biológicas e químicas de forma integrada (Tinoco et al., 2023).

Dentre as estratégias do (Manejo Integrado de Pragas) MIP, uma em que vem sendo adotada para o controle de pragas é o controle biológico, que apresenta vantagens em relação aos métodos convencionais como a redução do impacto ambiental, a diminuição dos riscos para a saúde humana e a melhoria da qualidade dos alimentos produzidos. Além disso, o uso do controle biológico pode contribuir para a preservação da biodiversidade local e para a redução dos custos de produção (Gurr et al., 2016; Muller et al., 2017).

A América Latina possui uma vasta biodiversidade, o que tem facilitado a criação de programas regionais de controle biológico, incluindo a exportação de agentes de controle biológico entre os países da região e exportando para outros continentes (Colmenarez et al., 2016).

Entre as estratégias de controle biológico utilizadas na cultura da Soja, destacam-se o uso de microrganismos entomopatogênicos. Estudos têm demonstrado a eficácia dessas estratégias no controle de pragas como a lagarta-da-Soja e o percevejo-marrom (Farias et al., 2019; Magalhães et al., 2020; Souza et al., 2020). Comparada à indústria de agroquímicos convencionais, a indústria de biocontrole está crescendo 5,3 vezes mais rápido (Costa et al., 2020).

No Brasil, o Programa Nacional de Bioinsumos foi concebido com o objetivo de ampliar e fortalecer o setor. Uma das ações do programa foi o lançamento de uma linha de crédito específica para o tema de bioinsumos. E, pela primeira vez, recursos foram liberados com linha de financiamento para agricultores, cooperativas e empresas para a instalação e aquisição de equipamentos de unidades de multiplicação para produção de bioinsumos (Vidal et al., 2021).

De acordo com o Ministério da Agricultura Agropecuária e Abastecimento - MAPA (2020), bioinsumo é caracterizado como:

O produto, o processo ou a tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao uso na produção, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que interfiram positivamente no crescimento, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, de plantas, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos.

Produtos biológicos são produtos que contêm microrganismos ou derivados microbianos como agentes ativos, com potencial benéfico e de ocorrência natural. Na agricultura, houve crescimento no uso destes produtos como bioestimulantes e biopesticidas, isso se deve, principalmente, a pesquisas que demonstram os benefícios destes produtos e a credibilidade alcançada nos sistemas de manejo integrado das culturas (Adesemoy, 2017; Vidal *et al.*, 2020).

Além de produtos biológicos comerciais, existe a alternativa da produção *On Farm*. Produção “*On Farm*”, é a possibilidade de produtores rurais multiplicarem, em suas próprias fazendas, caldos fermentados contendo microrganismos e aplicarem nas lavouras. Este método de produção é bastante atrativo aos produtores rurais, pois proporciona a redução de custos e promove a sustentabilidade na agricultura (Fontes; Valadares-Inglis; Santos *et al.*, 2020).

De acordo com o Decreto nº 10.833/2021, fica estabelecido que "Ficam isentos de registro os produtos fitossanitários com uso aprovado para a agricultura orgânica produzidos exclusivamente para uso próprio em sistemas de produção orgânica ou convencional" (BRASIL, 2021).

No sistema de produção de bioinsumos *On Farm* são utilizados tanques onde o produtor adiciona um meio de cultura, água, antiespumante, açúcar cristal e o inóculo microbiano. O inóculo microbiano é adquirido através de um produto comercial com registro. Para a multiplicação, injeta-se ar na solução através de um sistema de tubulação para garantir a aeração do sistema, e, geralmente, após 48 horas de funcionamento do sistema o multiplicado está pronto para uso (Santos *et al.*, 2020).

As unidades de multiplicação desempenham um papel fundamental como ferramentas biotecnológicas de destaque, proporcionando inúmeras vantagens ao produtor rural. Ao compará-las à aquisição de produtos comerciais prontos, percebe-se significativa redução nos custos de fabricação, armazenagem e transporte (Vidal, Amaral, *et al.*, 2021). Em contrapartida, a produção *On Farm*, se conduzida em condições operacionais inadequadas, pode gerar substâncias contaminantes, propagação de microrganismos prejudiciais, acidentes ambientais e, inclusive, a obtenção de produtos que não atendam efetivamente à finalidade desejada (Xavier, 2022).

No Brasil, o GAAS – Grupo Associado de Agricultura Sustentável vem promovendo e difundindo boas práticas na produção de Soja, milho, algodão, entre

outros. As práticas de produção desses agricultores convencionais incluem o uso de microrganismos funcionais, compostagem e microrganismos eficientes, plantas de cobertura, sintropia, desenvolvimento de variedades adaptadas, remineralizadores de solos e multiplicação de produtos biológicos na propriedade (*On Farm*), promovendo a agricultura sustentável (Costa *et al.*, 2020; Vidal *et al.*, 2021).

Na decisão de troca do manejo convencional para o manejo biológico, o produtor deve considerar o Custo de Oportunidade. Segundo Brannstrom *et al.*, (2019), o custo de oportunidade é relevante na tomada de decisão dos produtores rurais, especialmente quando se trata da escolha entre práticas agrícolas convencionais e orgânicas. Ao considerar os custos e benefícios de cada opção, é possível identificar a melhor alternativa para o produtor em termos de rentabilidade, sustentabilidade e segurança alimentar.

Em um estudo sobre a produção de uva no Brasil, Daminello *et al.*, (2017), avaliaram o custo de oportunidade de adotar práticas de manejo integrado de pragas em comparação com o uso de defensivos químicos. Concluiu-se que o manejo integrado de pragas apresentou menor custo de produção e menor impacto ambiental, além de manter a qualidade da produção e da saúde dos trabalhadores.

Ao comparar os custos de produção da soja convencional com aqueles associados ao Manejo Integrado de Pragas nas safras de 2013/2014 a 2017/2018, observou-se que os custos do Manejo Integrado de Pragas (MIP) foram consistentemente menores do que no sistema convencional. Além disso, a produção com o MIP se manteve superior durante o período analisado, proporcionando menor custo e maior produção. Em termos de uso de inseticidas, o sistema convencional apresentou, em média, 83% mais aplicações do que o MIP, o que resultou em custos de produção 110% mais altos no sistema convencional (Staback *et al.*, 2020).

Em sua pesquisa, Muller *et al.*, (2017), comparou o desempenho de alguns produtos químicos e biológicos para o controle do percevejo marrom na Soja. Seus resultados demonstram que dentre os produtos testados, o biológico obteve resultados similares aos químicos, sendo mais atrativo ao produtor pelo baixo custo.

Diante da necessidade da adoção de manejos que causem menos impactos ambientais, assim como alternativas economicamente viáveis, surge a seguinte questão de pesquisa: Qual o custo de oportunidade da transição do Manejo Convencional de pragas em relação ao Manejo Integrado e Manejo Biológico *On Farm*?

Para atender ao objetivo deste estudo, foram analisados os custos de oportunidade da implantação de Unidade de Multiplicação de fungos e bactérias entomopatogênicos *On Farm* para a cultura da Soja no Estado de Mato Grosso do Sul. Foram analisados os custos de implantação e produção da Unidade de Multiplicação, simulando propriedades de tamanhos diferentes (50, 200, 500 e 1000 hectares), além dos custos dos agroquímicos conforme dosagens recomendadas por assistência técnica agrônoma, que atua na região de Maracaju-MS. Foram também comparados os resultados dos custos nos diferentes manejos e avaliados os benefícios financeiros da substituição a curto, médio e longo prazo, determinando assim o custo de oportunidade.

Esta pesquisa está organizada em quatro seções distintas. A primeira aborda a introdução, na qual são apresentados o problema e sua relevância e o objetivo do estudo. A segunda seção descreve os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho. Na terceira seção, são apresentados os resultados obtidos a partir da pesquisa realizada. Por fim, na quarta seção, são discutidas as considerações finais, seguidas pela listagem das referências bibliográficas utilizadas para fundamentar o estudo.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Delineamento do estudo

Este estudo de caso econômico, com foco na safra 2022/2023 na região de Maracaju-MS, é baseado em uma simulação determinística para comparar a viabilidade financeira de três estratégias de manejo na cultura da Soja. As comparações são realizadas em quatro escalas de produção: 50, 200, 500 e 1.000 hectares. Os manejos analisados são: o Manejo Convencional (totalmente químico); o Controle Biológico *On Farm* (com abordagem preventiva); e o Manejo Integrado (MI), que combina o Controle Biológico *On Farm* com aplicações químicas estratégicas. As premissas centrais da análise envolvem a definição de produtividades esperadas para cada tipo de manejo, o estabelecimento da janela ideal de aplicações de defensivos e bioinsumos, e a utilização de uma moeda e ano-base consistentes para todos os cálculos de custo-benefício.

A localização do estudo é o município de Maracaju, no estado de Mato Grosso do Sul (Figura 1), no Bioma Cerrado. O Cerrado é o segundo maior bioma da América do Sul, está localizado no Planalto Central, ocupando cerca de 24% do território

brasileiro. É reconhecido como a savana mais rica do mundo em biodiversidade (GOV, 2022).

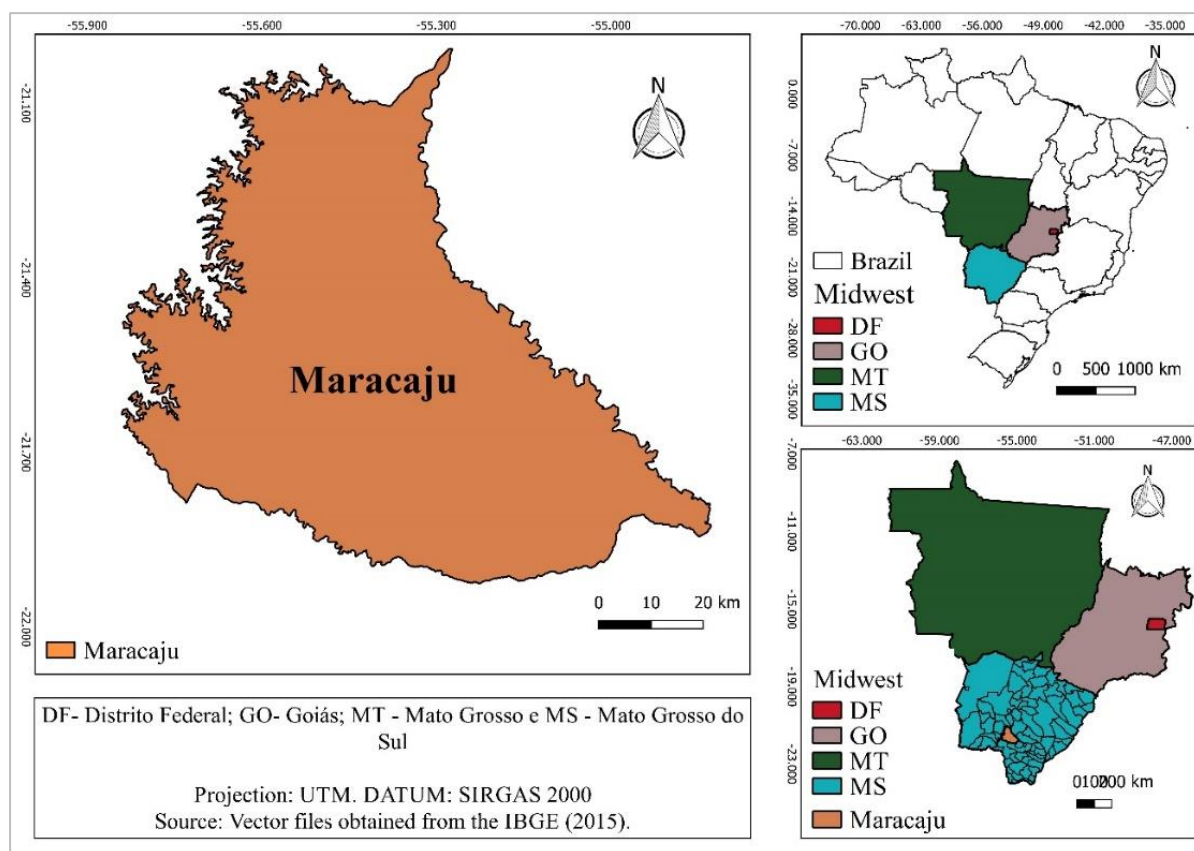


Figura 1. Localização do município de Maracaju, estado de Mato Grosso do Sul.

Fonte: IBGE (2015).

Este estudo foi realizado com base nos valores praticados em Maracaju-MS, pois este município se destaca como maior produtor de Soja no estado de Mato Grosso do Sul, produzindo na Safra 2022/2023 um total de 15 milhões toneladas dessa oleaginosa em 4 milhões de hectares, com a média de 70,44 sacas de Soja por hectare (Famasul, 2023). O estado de Mato Grosso do Sul foi o quinto maior produtor de Soja no Brasil na Safra citada (Conab, 2023), e o Brasil se destaca novamente por ser o maior produtor de Soja mundial, alcançando 163 milhões de toneladas na Safra 2022/2023, seguido dos Estados Unidos (117 milhões/ton) e Argentina (48 milhões/ton) (USDA, 2023).

2.2. Dados de Investimento para análise de viabilidade econômica

Para a implantação da Unidade de Multiplicação, foram estimados os custos de implantação, incluindo os custos laborais, sendo uma construção em alvenaria, com

forro de pvc, piso e paredes revestidos para melhor higienização, além de uma pia em inox, ar-condicionado, uma porta e uma janela, mão de obra e matéria-prima que contemplam uma safra de Soja, com produção suficiente para atender propriedades de 50 hectares, 200 hectares, 500 hectares e 1000 hectares, permitindo identificar a viabilidade econômica em propriedades de tamanhos diferentes.

Foram consideradas bases de preços, praticados no mercado, dos equipamentos a serem adquiridos para montagem da unidade de multiplicação, somado às despesas com mão de obra e matéria-prima para atender o ciclo da Soja, no período safra 2022/2023 (outubro de 2022 a março de 2023). Conforme recomendação de assistência técnica especializada em manejo sustentável, que atua na região de Maracaju-MS.

Os dados coletados foram tabulados no programa Microsoft Excel®, separados por classificação: Investimento na Unidade de Multiplicação, mão-de-obra e matéria-prima. Assim, foi possível identificar o investimento total para atender a demanda de bioinsumos da safra de Soja.

2.3. Custos dos Manejos: Convencional, Integrado e Biológico *On Farm*

Foram estimados os valores do Manejo Convencional para o controle de pragas e doenças, sendo utilizados fungicidas e inseticidas químicos, nas dosagens recomendadas por técnicos de vendas de insumos da região de Maracaju-MS. Os custos dos agroquímicos foram determinados conforme informações da CONAB (2022) e vendas de insumos para a mesma região.

Para estimar os custos das aplicações dos agentes biológicos, foram extraídos os valores da soma do total do investimento e matéria-prima e dividido o valor total por hectare, identificando assim o custo de cada produto no manejo biológico *On Farm*, conforme fórmula (1) a seguir:

$$Cp = \frac{In+Ma}{Ha} \quad (1)$$

Em que: Cp trata-se do Custo do produto, In é o investimento na unidade de multiplicação, Ma são os custos da matéria-prima somados a mão-de-obra e, Ha são os hectares que esta produção atenderá.

Foi elaborado um protocolo de Manejo Integrado, no qual foram simuladas as aplicações de agentes biológicos e inclusos fungicidas e inseticidas químicos nos

estádios considerados críticos de ataque de pragas e doenças na Soja. Os custos do Manejo Integrado foram obtidos a partir dos custos obtidos no Manejo Convencional e Manejo Biológico *On Farm* deste estudo.

2.4. Custo de oportunidade

Após o levantamento dos dados de investimento da unidade de multiplicação e custos dos manejos de pragas e doenças, as informações foram tabuladas no programa Microsoft Excel®. O custo de oportunidade de um fator de produção em uma determinada situação é igual ao valor da renda líquida que o fator geraria em seu melhor uso alternativo (Beuren, 1993). Considerando que a produtividade nos dois manejos é similar, considera-se para esta análise apenas os custos, conforme fórmula (2) abaixo:

$$CO = Mb - Mq \quad (2)$$

Em que: CO trata-se do Custo de oportunidade, *Mb* é o valor para produção no Manejo Biológico e, *Mq* são os custos com agroquímicos no manejo convencional.

Assim, é possível identificar qual manejo de pragas e doenças é mais atrativo economicamente ao produtor rural.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção apresenta-se os resultados da pesquisa em três subseções. A primeira, apresenta os custos para a implantação da Unidade de Multiplicação, além dos custos da matéria-prima e mão de obra para produção de bioinsumos que contemplam o ciclo da Soja. A segunda, compara os custos dos manejos, Integrado, Biológico *On Farm* e Convencional. Por fim, apresentam-se os resultados do custo de oportunidade na opção de troca do Manejo Convencional pelos Manejos Integrado e Biológico *On Farm*.

3.1. Custos de implantação e produção da Unidade de Multiplicação na Safra 22/23.

A Tabela 1 demonstra o custeio do investimento da Unidade de Multiplicação com capacidade de fornecer bioinsumos para o manejo de pragas e doenças que atenda propriedades de 1000, 500, 200 e 50 hectares.

Tabela 1. Custos com obra civil e equipamentos para implantação da Unidade de Multiplicação.

Item	1.000 ha	500 ha	200 ha	50 ha
Biorreator Inox				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Tanque 1000 L, 500 L, 200 L, 50 L	17.617,50	13.872,08	7.027,24	3.525,42
Biorreator Polipropileno				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Tanque 1000 L, 500 L, 200 L, 50 L	14.049,60	10.884,08	1.964,64	931,40
Kit Aerador				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Compressor Radial CR-2 410 25 SS	3.650,00	3.650,00	-	-
Compressor Radial CR -2 210 16 SS	-	-	2.181,96	2.181,96
Kit filtro de ar	238,80	238,80	238,80	238,80
Adaptador Sold. Curto - Lr 50mm X 2"	30,00	30,00	-	-
Adaptador soldável 40mm x 1 1/4"	-	-	15,00	15,00
Curva soldável 40mm	-	-	300,00	300,00
Curva soldável 50mm	163,50	163,50	-	-
Tubo de PVC 40mm	-	-	26,22	26,22
Tubo de PVC 50mm	131,80	131,80	131,80	131,80
TEE derivação 40mm	-	-	112,00	112,00
TEE derivação 50mm	160,00	160,00	-	-
Registro soldável 40mm	-	-	108,75	108,75
Registro soldável 50mm	213,00	213,00	-	-
Abraçadeira 40mm	-	-	12,00	12,00
Abraçadeira 50mm	12,00	12,00	-	-
Bucha 6mm	20,00	20,00	20,00	20,00
Parafuso 6mm	20,00	20,00	20,00	20,00
Suporte para bomba de aeração	80,00	80,00	80,00	80,00
Total	4.719,10	4.719,10	3.246,53	3.246,53
Kit Água				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Filtro Modular 100 1.1/2" D. 130 M	120,00	120,00	120,00	120,00
Kit aparelho de ozônio trat.de água	1.579,00	1.579,00	1.579,00	1.579,00
Total	1.579,00	1.579,00	1.579,00	1.579,00
Kit Extração				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Motobomba Centrífuga Autorespirante em Inox 1/2cv	706,00	706,00	706,00	-
Redução 1"	40,00	40,00	40,00	-
Mangueira 1"	360,00	360,00	180,00	180,00
Engate rápido p/ mangueira 1"	60,00	60,00	60,00	60,00
Adaptador rápido p/ mangueira1"	30,00	30,00	30,00	30,00
Registro soldável 1"	128,00	128,00	128,00	128,00
Niple PVC 1"	29,60	29,60	29,60	29,60
Total	1.353,60	1.353,60	1.173,60	427,60
Armazenamento				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Dorna 1000L, 500L, 200L, 50L, 1"	19.861,20	10.038,56	3.229,96	1.956,00
Outros materiais				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Veda rosca 18 metros	18,00	18,00	18,00	18,00
Tubo de cola para cano	180,00	180,00	180,00	180,00
Folha de lixa 180 FPP	25,35	25,35	25,35	25,35
Total	223,35	223,35	223,35	223,35
Obra civil				
Componente	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)	Total (R\$)
Construção em alvenaria,48m²	58.464,00	58.464,00	-	-
Construção em alvenaria 9,00m²	-	-	16.200,00	16.200,00

Continua...

Ar-condicionado 12.000 BTUS	3.217,50	3.217,50	R\$ 1.608,75	1.608,75
Total	61.681,50	61.681,50	R\$17.808,75	17.808,75
Total do investimento Inox	107.035,25	93.467,19	34.288,43	28.766,65
Total do invest. Polipropileno	103.467,35	90.479,19	29.225,83	26.172,63
Investimento por ha Inox	107,04	186,93	171,44	575,33
Investimento por ha Polipropileno	103,47	180,96	146,13	523,45

Fonte: Elaboração própria, a partir de orçamentos em revendas da região de Maracaju-MS e lojas virtuais.

Conforme Tabela 1, os componentes para a implementação da Unidade de Multiplicação são divididos entre os biorreatores, trata-se dos tanques que servirão para receber a matéria-prima para multiplicação. Material elétrico e hidráulico, componentes essenciais para o funcionamento da aeração dos biorreatores. As dornas, que são os tanques de armazenamento do produto acabado, onde ficam estocados até o momento do uso. Custos da construção em alvenaria, que podem ser substituídos pela aquisição de container que contemple os equipamentos internamente. E, o ar-condicionado, essencial para o controle da temperatura ideal para a multiplicação dos microrganismos.

Foram comparados os valores de biorreatores com dois materiais diferentes, biorreator em Polipropileno e biorreator em Aço Inox. O Polipropileno é resistente a diversos produtos químicos, a temperaturas elevadas e praticamente insolúvel em todos os solventes orgânicos à temperatura ambiente, além de extremamente resistente a quebra sob tensão ambiental (Ebewe, 2000). O Aço Inoxidável, tem grande resistência à corrosão e menor susceptibilidade a crescimento microbiano (Telles, 2003).

Para a obtenção do bioinsumo, conforme recomendação de assistência técnica especializada, foram estimados os custos da matéria-prima e mão de obra que atenda a demanda para um ciclo de Soja completo, além dos custos da água utilizada, neste caso de poço artesiano, com vida útil de 30 anos e capacidade de 5.000 litros de água/hora. A mão de obra estimada neste estudo foi a contratação de um técnico que realize a multiplicação e manutenção da unidade de multiplicação (R\$ 3.000,00 mensais, por 6 meses) (Tabela 2). Porém, existe a alternativa de contratação de assistência técnica que realize este trabalho e faça as recomendações ou até mesmo o treinamento do produtor rural ou de um de seus colaboradores.

Tabela 2. Matéria-prima e material utilizado para a multiplicação *On Farm* de agentes biológicos para a Soja safra 2022/2023.

Componente	Total em R\$ 1000 ha	Total em R\$ 500 ha	Total em R\$ 200 ha	Total em R\$ 50 ha
Meio de Cultura CRX (Balde/1000L)	84.000,00	42.000,00	16.800,00	4.200,00
Meio de Cultura (Balde/1000 L)	0,00	0,00	0,00	0,00
Antiespuma (1L/1000 L)	1.680,00	840,00	336,00	84,00
Neutralizador de Cloro (1Kg/ 5000 L)	224,00	112,00	44,80	11,20
Identificador de Cloro (100ml/1000 L)	56,00	28,00	11,20	2,80
Iodo (Recipiente 1 L/ 10 Limpezas)	180,00	90,00	36,00	9,00
Hipoclorito de Sódio (5 L)	420,00	210,00	84,00	21,00
Detergente Amoniacal (5 L)	92,00	46,00	18,40	4,60
Inóculos (1 L) 10 L para 1000 L	56.000,00	28.000,00	11.200,00	2.800,00
Materiais e produtos de limpeza	100,00	100,00	100,00	100,00
Energia elétrica (kwh/mês)	7.667,76	7.667,76	3.833,88	3.833,88
Água (Produção + limpeza) *	5,61	2,81	1,12	0,28
Mão de obra (técnico meses)	18.000,00	18.000,00	0,00	0,00
Total	168.425,37	97.096,57	32.465,40	11.066,76

Fonte: Elaboração própria, a partir de orçamentos em revendas da região de Maracaju-MS.

* Considerando os custos para implantação de poço artesiano, na Região de Maracaju-MS. Com custos diluídos pela capacidade de captação de água e vida útil de 30 anos.

Dentre os componentes utilizados para a multiplicação, descritos na Tabela 2, o Meio de cultura, trata-se do material que fornecerá nutrientes para que os microrganismos se desenvolvam. Os Inóculos são os microrganismos que serão multiplicados, o identificador de cloro é necessário para identificar o nível de cloro na água que será utilizada para a multiplicação e o Neutralizador de cloro agirá especificamente para neutralizar o cloro eventualmente contido na água, evitando assim, que o cloro interfira no desenvolvimento dos microrganismos.

Para as áreas de 200 e 50 hectares, não foram inclusos os custos de mão de obra, pois por se tratar de um volume de produção pequeno, é possível que o próprio produtor rural realize a multiplicação sem a necessidade de contratação de mão de obra extra.

3.2. Custos dos manejos: Convencional, Biológico *On Farm* e Integrado.

Para os custos do Manejo Convencional, foi solicitada a recomendação técnica para o manejo de pragas e doenças, elaborada por assistência técnica que atua na região de Maracaju-MS. A partir da recomendação, foram estimados os custos dos agroquímicos (fungicidas e inseticidas) por aplicação/hectare, conforme Tabela 3.

Tabela 3. Custos por dosagem, para o controle de pragas e doenças no Manejo Convencional.

Data de aplicação	Produto comercial	Dose	R\$ lt/kg	Total R\$
45 dias	Engeo Pleno	0,30	216,00	64,80
	Sperto	0,50	39,80	19,90
	Perito	1,00	100,00	100,00
	Kaiso	0,25	175,00	43,75
	Orkestra	0,30	376,00	112,80
	Mecanização	-	-	1,40
Total aplicação				342,65
65 dias	Engeo Pleno	0,30	216,00	64,80
	Sperto	0,50	39,80	19,90
	Perito	1,00	100,00	100,00
	Kaiso	0,25	175,00	43,75
	Vessarya	0,70	213,81	149,67
	Mecanização	-	-	1,40
Total aplicação				379,52
85 dias	Engeo Pleno	0,30	216,00	64,80
	Sperto	0,50	39,80	19,90
	Perito	1,00	100,00	100,00
	Kaiso	0,25	175,00	43,75
	Aproach Prima	0,30	128,00	38,40
	Bravonil	1,00	28,00	28,00
	Mecanização	-	-	1,40
Total aplicação				296,25
Total/ha				1.018,42

Fonte: Elaboração própria, a partir de informações do site do CEPEA, Fundação ABC e orçamentos em vendas de insumos da região de Maracaju-MS.

A recomendação dos agroquímicos mencionados na Tabela 3, exemplificam um receituário agrônomo padrão, utilizando inseticidas e fungicidas comumente utilizados na região de estudo. Porém, os agricultores caso percebam a necessidade de realizar mais aplicações para o controle de pragas ou doenças, realizará mais aplicações fora do calendário recomendado.

No calendário de recomendação do manejo convencional sugerido, conforme recomendações de assistências agrônomicas da região de Maracaju-MS, foram estimados três momentos de aplicação, aos 45 dias, 65 dias e 85 dias após plantio. Porém, o produtor pode realizar aplicações corretivas caso ocorra a incidência de pragas e doenças, podendo assim, aumentar os custos do manejo convencional.

No manejo biológico, foi realizada a recomendação de dose por hectare, por uma empresa de assistência técnica atuante na região de Maracaju-MS, que realiza o trabalho de implantação e manejo da unidade de multiplicação. Os custos de aplicação/hectare, foram estimados após a soma dos custos de implantação da

unidade de multiplicação e custos para obtenção do produto após multiplicação *On Farm* (Tabela 4). A Tabela 5 contém os custos do manejo a partir da segunda safra após a implantação da unidade de multiplicação, onde os custos são apenas da matéria-prima e mão de obra.

Tabela 4. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico *On Farm*, referente ao 1º ano com custos do investimento.

Manejo Biológico		1000 ha	500 ha	200 ha	50 ha
Data	Produto	Custo em R\$	Custo em R\$	Custo em R\$	Custo em R\$
Aplicação no sulco	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Azospirillum brasilense</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus megaterium</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
V3-V4	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
V8-V9	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
R3	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
R5.1	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
R5.4	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	39,98	55,17	45,36	109,53
R7	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Total aplicação	31,99	44,14	36,29	87,62
Total/hectare		271,89	375,15	308,46	744,79

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabelas 01 e 02.

Os microrganismos sugeridos na Tabela 4, são usualmente utilizados por assistência que atende a região de estudo. Trata-se de microrganismos que tiveram o desempenho testado em diversos estudos, comprovando sua eficiência, antes de sua comercialização para multiplicação *On Farm*.

Conforme apresentado na Tabela 4, verificou-se que a área de 1.000 hectares tem o menor custo no produto, pois os valores de implantação e mão de obra, são diluídos por uma produção maior se comparado a 500 hectares. De maneira similar, ocorre na produção para 200 hectares, se comparado a 50 hectares, onde os custos da implantação são similares, porém a diluição destes custos pela produção é maior em 200 hectares, tornando os custos de produção no primeiro ano menores.

Tabela 5. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico *On Farm*, referente ao 2º ano.

Manejo Biológico		1000 ha	500 ha	200 ha	50 ha
Estádio	Produto	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)
Aplicação no sulco	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Azospirillum brasilense</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus megaterium</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
V3-V4	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis s. kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
V8-V9	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis s. aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R3	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis s. kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R5.1	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis s. aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51

Continua...

	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R5.4	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis</i>				
	subsp. <i>kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R7	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis</i> subsp.				
	<i>aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	21,21	24,25	20,50	27,44
	Total/hectare	178,23	203,99	172,13	231,14

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabelas 1 e 2.

No manejo biológico foram recomendadas 7 aplicações de bioinsumos, pois este tipo de manejo é preventivo e deve ocorrer antes que as pragas e doenças atinjam o nível de controle, diferente do manejo convencional. Os custos do manejo biológico demonstram os custos do ano de implantação da unidade de multiplicação, onde os custos do investimento estão embutidos nos custos dos produtos, a partir do segundo ano em atividade, são considerados apenas os custos para a produção dos bioinsumos, diminuindo assim os custos de produção.

A partir dos resultados das Tabelas 4 e 5, foi elaborado um resumo (Tabela 6), em que são apresentados os custos por litro de produto produzido nos modelos de unidade de multiplicação utilizando biorreatores em Inox e Polipropileno. Assim, é possível verificar a diferença nos custos de implantação nos diferentes equipamentos.

Tabela 6. Custos por litro produzido, para o controle de pragas e doenças no Manejo Biológico *On Farm*, referente ao material do biorreator no investimento.

Item	1000 ha em R\$	500 ha em R\$	200 ha em R\$	50 ha em R\$
Biorreator em Inox 1ª safra	8,10	11,21	9,82	23,43
Biorreator em Polipropileno 1ª safra	8,00	11,03	9,07	21,91
Valor lt/ha 2ª safra (sem investimento)	4,95	5,71	4,77	6,51

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabelas 4 e 5.

Percebe-se que a diferença nos custos por litro produzido é similar, independente do material utilizado do biorreator (Tabela 6). Porém, quanto mais litros produzidos, maior é a diluição dos custos de implantação, tornando assim os custos menores na simulação de 1.000 hectares e 200 hectares.

Os biorreatores fabricados em polipropileno apresentam as condições adequadas para a condução da unidade de multiplicação e tem um custo menor de aquisição se comparado aos biorreatores em inox (Tabela 6). Na segunda safra os custos de produção são os mesmos, pois os custos de investimento são liquidados na primeira safra e passam a ser considerados apenas os custos com matéria-prima e mão de obra.

As Tabelas 7 e 8, apresentam os custos de um protocolo de Manejo Integrado, elaborado por assistência técnica, onde utiliza-se o Manejo Biológico *On Farm* consorciado ao Manejo Químico. Foram inclusos inseticidas e fungicidas químicos nos estádios críticos do ciclo da Soja onde as pragas comumente começam a causar danos econômicos.

Tabela 7. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Integrado, referente ao 1º ano com custos do investimento.

Manejo Integrado		1000 ha	500 ha	200 ha	50 ha
Estádio	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)
Aplicação no sulco	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Azospirillum brasilense</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus megaterium</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	41,38	56,57	46,76	110,93
V3-V4	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	41,38	56,57	46,76	110,93
V8-V9	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Orchestra	112,80	112,80	112,80	112,80
	Sperto	19,90	19,90	19,90	19,90
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	174,08	189,27	179,46	243,63
R3	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	Compost Tea	8,00	11,03	9,07	21,91
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	41,38	56,57	46,76	110,93
R5.1	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91

Continua...

	<i>Compost Tea</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Vessarya</i>	149,67	149,67	149,67	149,67
	<i>Engeo Pleno</i>	64,80	64,80	64,80	64,80
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	255,85	271,04	261,23	325,40
R5.4	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus subtilis</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Compost Tea</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	41,38	56,57	46,76	110,93
R7	<i>Bacillus pumilus</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Compost Tea</i>	8,00	11,03	9,07	21,91
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	33,39	45,54	37,69	89,02
	Total/hectare	628,86	732,12	665,43	1.101,76

Fonte: Elaboração própria.

O protocolo de Manejo Integrado sugerido, é composto pelo Manejo Biológico *On Farm*, com a inclusão de fungicidas e inseticidas químicos nos estádios V8-V9 e R5.1, conforme recomendação de assistência técnica.

Tabela 8. Custos por hectare, para o controle de pragas e doenças no Manejo Integrado, referente ao 2º ano.

Manejo Integrado		1000 ha	500 ha	200 ha	50 ha
Estádio	Produto	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)	Custo/ha 2º ano (R\$)
Aplicação no sulco	<i>Bradyrhizobium japonicum</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Azospirillum brasilense</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus aryabhattai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus megaterium</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
V3-V4	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Compost Tea</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
V8-V9	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Compost Tea</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Orkestra</i>	112,80	112,80	112,80	112,80
	<i>Sperto</i>	19,90	19,90	19,90	19,90
	<i>Mecanização</i>	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	158,87	162,66	157,97	166,65
R3	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51

Continua...

	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R5.1	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Vessarya	149,67	149,67	149,67	149,67
	Engeo Pleno	64,80	64,80	64,80	64,80
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	240,64	244,43	239,74	248,42
R5.4	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus subtilis</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. kurstaki</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	26,17	29,96	25,27	33,95
R7	<i>Bacillus pumilus</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Bacillus thuringiensis subsp. aizawai</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	<i>Cromobacterium subtsugae</i>	4,95	5,71	4,77	6,51
	Compost Tea	4,95	5,71	4,77	6,51
	Mecanização	1,40	1,40	1,40	1,40
	Total aplicação	21,21	24,25	20,50	27,44
	Total/hectare	525,40	551,16	519,30	578,31

Fonte: Elaboração própria.

As Tabelas 7 e 8, que detalham o protocolo de Manejo Integrado, demonstram a sua natureza híbrida, que combina a aplicação preventiva de bioinsumos *On Farm* com a inclusão estratégica de produtos químicos nos estádios mais críticos do ciclo da soja. A comparação entre o primeiro e o segundo ano de implementação é fundamental para esta análise.

A Tabela 7 mostra que, na safra inicial, os custos por hectare são significativamente mais altos, pois incluem o investimento inicial na unidade de multiplicação. No entanto, a Tabela 8, referente ao segundo ano, evidencia uma redução substancial desses custos, uma vez que o produtor precisa arcar apenas com a matéria-prima e a mão de obra. Essa diferença ressalta a importância de uma visão de médio e longo prazo para avaliar a real viabilidade econômica do manejo integrado, confirmando que a diluição do investimento inicial torna essa alternativa ainda mais atrativa ao longo do tempo.

3.3. Custos de oportunidade

Para avaliar os custos de oportunidade, foram comparados os custos de cada manejo, considerando no primeiro ano o investimento da Unidade de Multiplicação e a partir do segundo ano apenas os custos para obtenção de matéria-prima e multiplicação dos agentes biológicos para obtenção do produto (Tabela 9).

A Tabela 9 traz a economia gerada a partir da escolha de investimento na Unidade de Multiplicação, optando pela opção mais barata, são apresentados os custos no Manejo Biológico e Manejo Integrado, além do Manejo Convencional onde são inclusos os custos apenas dos produtos.

Tabela 9. Custo anual dos manejos, com investimento da Unidade de Multiplicação na 1ª safra e 2ª safra sem o investimento, comparado ao Manejo Convencional.

1ª safra	1.000 ha (R\$)	500 ha (R\$)	200 ha (R\$)	50 ha (R\$)
Manejo Convencional	1.018.417,00	509.208,50	203.683,40	50.920,85
Manejo Integrado	628.862,72	366.060,76	133.085,23	55.087,89
Manejo Bio <i>On Farm</i>	281.692,72	192.475,76	63.651,23	37.729,39
Economia por ha Integrado X Químico	389,55	286,30	352,99	-83,34
Economia por ha Biológico X Químico	736,72	633,47	700,16	263,83
Economia Total Integrado X Químico	389.554,28	143.147,75	70.598,17	-4.167,04
Economia Total Biológico X Químico	736.724,28	316.732,75	140.032,17	13.191,46
2ª safra	1.000 ha (R\$)	500 ha (R\$)	200 ha (R\$)	50 ha (R\$)
Manejo Convencional	1.018.417,00	509.208,50	203.683,40	50.920,85
Manejo Integrado	525.395,37	275.581,57	103.859,40	28.915,26
Manejo Bio <i>On Farm</i>	168.425,37	97.096,57	32.465,40	11.066,76
Economia por ha Integrado X Químico	493,02	467,25	499,12	440,11
Economia por ha Biológico X Químico	849,99	824,22	856,09	797,08
Economia Total Integrado X Químico	493.021,63	233.626,94	99.824,00	22.005,59
Economia Total Biológico X Químico	849.991,63	412.111,94	171.218,00	39.854,09

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabelas 3, 6, 7 e 8.

De acordo com a Tabela 9, pode-se observar a viabilidade econômica da multiplicação *On Farm*. Caso as pragas atinjam o nível de controle e seja necessária a utilização de agroquímicos, conforme Manejo Integrado, a redução de custos será vantajosa, exceto para a produção em 50 hectares no ano de implantação da Unidade de Multiplicação. A partir da segunda safra, o Manejo Integrado é positivo para o pequeno produtor.

Na Tabela 10, é apresentada em termos percentuais a economia gerada na escolha do controle Biológico *On Farm* e Manejo Integrado, comparado ao Manejo Convencional. Na 1ª safra considerando os custos de investimento de implantação da Unidade de Multiplicação, matéria-prima e mão de obra. Já na safra seguinte, considerando apenas a matéria-prima e mão de obra.

Tabela 10. Economia anual do Manejo Biológico *On Farm* e Manejo Integrado comparado ao Manejo Convencional.

Manejos	1.000 ha (em%)	500 ha (em%)	200 ha (em%)	50 ha (em%)
Integrado 1ª Safra	38	28	35	-8
Biológico 1ª Safra	73	62	69	26
Integrado 2ª Safra	48	46	49	43
Biológico 2ª Safra	83	81	84	78

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabela 9.

É importante considerar que a Unidade de Multiplicação pode produzir bioinsumos para outras culturas, como o milho, que é uma cultura muito importante na região analisada, principalmente no sistema de rotação de culturas. Dessa forma, a adoção do controle biológico *On Farm* pode trazer benefícios não apenas para a cultura da Soja, contribuindo para uma agricultura mais sustentável e econômica.

Considerando os resultados da Tabela 10, projetou-se a economia gerada ao longo de 10 anos, a partir da troca do Manejo Convencional por manejos alternativos (Tabela 11). Apresenta-se também, a quantidade de litros de agroquímicos que deixam de ser aplicados na produção da Soja para o controle de pragas e doenças, conforme recomendação de assistência técnica que atende na região de Maracaju-MS, ao longo de uma década.

Tabela 11. Projeção de economia para 10 anos, a partir da troca do Manejo Convencional para os Manejos: Biológico *On Farm* e Manejo Integrado.

Manejos	1.000 ha (R\$)	500 ha (R\$)	200 ha (R\$)	50 ha (R\$)
Economia Manejo Integrado	4.826.748,95	2.245.790,16	969.014,15	193.883,27
Economia Manejo Bio <i>On Farm</i>	8.386.648,95	4.025.740,16	1.680.994,15	371.878,27
Litros de agroquímicos evitados Manejo Integrado	66.500	33.250	13.300	3.325
Litros de agroquímicos evitados Manejo Biológico <i>On Farm</i>	84.500	42.250	16.900	4.225

Fonte: Elaboração própria, a partir dos resultados das Tabelas 3, 6, 7 e 8.

Apesar de toda economia gerada na escolha da produção *On Farm*, um dos desafios na adoção deste método está no processo de produção. O qual, apesar de ter recebido melhorias, ainda carrega o problema da presença de contaminantes, seja por falta de equipamentos adequados, matéria prima com pouca qualidade ou da carência de profissionais especializados (Mazaro *et al.*, 2022).

No experimento de campo realizado por Cruvinell *et al.*, (2012), entre os anos 2012 e 2022 em Goiás, foram comparados os custos dos manejos e sua respectiva rentabilidade, tanto no manejo convencional quanto no biológico. O manejo com insumos biológicos produzidos “*On Farm*” reduziu os custos de produção em 58,6%. Os autores observaram um aumento da produtividade de 13% e da rentabilidade de 175% da cultura da Soja, comprovando a economia gerada nessa relação de troca entre agroquímicos e controle biológico *On Farm*.

Salviano (2021) conduziu um estudo sobre práticas sustentáveis na cultura da Soja em Rio Verde-GO, entrevistando gestores de diversos segmentos dessa cadeia. Segundo o gestor da Cooperativa Comigo, os insumos biológicos, além de promoverem a sustentabilidade do solo e melhorarem sua fertilidade por meio da reprodução de microrganismos naturais, têm um custo final até 40% menor que os químicos. Considerando a aplicação contínua de biológicos por 5 a 10 anos, há uma estabilização natural do controle de pragas, reduzindo o número de aplicações e, potencialmente, diminuindo os custos em até 80%, mantendo ou aumentando a produtividade.

Embora a redução de custos seja uma oportunidade significativa, a multiplicação *On Farm* de microrganismos exige rigor em todos os processos e acompanhamento técnico para garantir a qualidade dos produtos. Os custos não devem ser considerados apenas como um fator competitivo, mas também como uma forma de controle para aprimorar todos os processos (Lima *et al.*, 2023).

De acordo com a Aprosoja MS (2022) os custos de produção da Soja para a safra 2022/2023, aumentaram em 26,6% em comparação a safra anterior. A busca por alternativas de diminuição dos custos de produção é essencial para os produtores de Soja se protegerem contra a volatilidade dos preços de venda, garantindo assim a sustentabilidade e a lucratividade contínua de suas operações.

Com a economia gerada substituindo o Manejo Convencional pela implantação da Unidade de Multiplicação para controle de pragas e doenças, o produtor rural pode alocar seus recursos em outros investimentos como, por exemplo, a aquisição de energia solar fotovoltaica, investimentos em agricultura de precisão, dentre outras ações que possibilitem uma produção mais sustentável.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo demonstram a viabilidade financeira e as vantagens a longo prazo da adoção de unidades de multiplicação *On Farm* para bioinsumos na cultura da soja em Mato Grosso do Sul, Brasil. Além de promover a sustentabilidade, essa transição oferece um forte incentivo econômico, com economias substanciais que chegam a 73% na safra inicial para grandes produtores.

Este estudo, embora forneça uma análise econômica robusta, apresenta certas limitações que merecem atenção. Primeiro, a análise não aprofundou os riscos técnicos de contaminação na produção *On Farm*. A viabilidade dos bioinsumos depende de um controle de qualidade rigoroso, e a contaminação por patógenos ou a perda de eficácia pode impactar a produtividade e gerar custos imprevistos. Outra limitação importante é a não inclusão das barreiras regulatórias para a produção e uso de bioinsumos *On Farm*. A legislação brasileira sobre o tema ainda está em evolução, e a falta de um arcabouço regulatório claro pode levar à incerteza jurídica e à burocracia, afetando diretamente as decisões de investimento dos produtores. Finalmente, embora a análise de viabilidade econômica tenha considerado diferentes escalas de produção, o estudo não detalhou o perfil de adoção de pequenos produtores, que podem enfrentar barreiras significativas, como o investimento inicial e a necessidade de capacitação técnica.

Com base nos resultados, o estudo mostra que a adoção de unidades de produção de bioinsumos *On Farm* é uma solução economicamente viável e sustentável para o agronegócio. A principal implicação prática é a viabilidade econômica dessas unidades, que não apenas gera economias significativas e um rápido retorno sobre o investimento, mas também reduz a dependência de insumos químicos, minimizando impactos ambientais e na saúde. Além disso, a produção local de bioinsumos aumenta a autonomia do produtor, permitindo um manejo mais flexível e a otimização de recursos financeiros para outros investimentos.

Para que esses benefícios sejam amplamente adotados, o apoio de políticas públicas específicas é crucial. O estudo sugere que o governo deve implementar incentivos fiscais para produtores que investem nessas tecnologias, criar linhas de crédito facilitadas com juros reduzidos para a implantação das unidades e fortalecer programas de capacitação e extensão rural. Essas medidas são essenciais para

remover as barreiras de entrada e acelerar a transição para um modelo agrícola mais resiliente e vantajoso.

REFERÊNCIAS

- ADESEMOYE, Tony O. **Introduction to biological products for crop production and protection**. University of Nebraska-Lincoln, Extension, 2017. Disponível em: <<http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/ec3019.pdf>>. Acesso em 12 fev 2023.
- APROSOJA MS – Associação dos produtores de Soja do Mato Grosso do Sul. Notícias. Custos de produção para a safra 2022/2023 aumentam 26,6%. Disponível em <<https://aprosojams.org.br/blog/custos-de-produ%C3%A7%C3%A3o-para-safra-20222023-aumentam-266>> Acesso em: 15 Mai. 2024.
- BASSETO, VHB et al. Catálogo virtual de doenças e pragas de Soja. 2022. **Embrapa Soja**. Documentos 446.
- BEUREN, Ilse Maria. Conceituação e contabilização do custo de oportunidade. **Caderno de Estudos**, p. 01-12, 1993. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/cest/a/Kv5FJx4tYcmSx95SKYkg8ZQ/?lang=pt&format=html>> Acesso em: 15 jul 2023.
- BRANNSTROM, C.; VIDELOPOULOS, T.; MCDOWELL, R. (2019). Opportunity cost and organic farming in California: An econometric analysis. **Agroecology and Sustainable Food Systems**, v. 43, n. 7, p. 777-794.
- CASTROAGUDÍN, V. L. et al. (2019). Global crop yield losses from the soybean rust fungus. **Plant Disease**, v. 103, n. 8, p. 1984-1992.
- COLMENAREZ, Yelitza C. et al. Uso do manejo integrado de pragas e controle biológico pelos agricultores na América Latina e no Caribe: Desafios e oportunidades. **Defensivos agrícolas naturais: uso e perspectivas**. **Embrapa, Brasília**, p. 802-853, 2016.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira. Grãos. Safra 2022/2023 9º levantamento, junho/2023. Disponível em <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 29 jun 2023.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Informações agropecuárias. Preços de insumos. Disponível em <<https://consultaweb.conab.gov.br/consultas/consultaInsumo.do?method=acaoCarregarConsulta>> Acesso em: 28 mar. 2023.
- CRUVINELL, Adriano et al. Rentabilidade na produção de Soja na fazenda Bom Jardim Lagoano com manejo de biológicos “on farm”. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e135111436112-e135111436112, 2022.
- DA COSTA, Flávia Santana Souza et al. *Bacillus thuringiensis* Effect on the Vegetative Development of Cotton Plants and the Biocontrol of *Spodoptera frugiperda*. **Agronomy**, v. 10, n. 12, p. 1889, 2020.
- DA SILVA, F. R., et al. Principais doenças da Soja e seu controle. **Boletim do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia**, v. 3, n. 2, p. 1-10. 2021.

DAMINELLO, A. J. O.; et al. Validating integrated pest management against chemical control: A cost–benefit analysis for Brazilian grape growing. **Crop Protection**, v. 92, p. 11-16. 2017.

EBEWELE, Robert O. **Polymer science and technology**. CRC press, 2000. Disponível em <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=jzc0CwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=EBEWELE,+R.+O.+Polymer+science+and+technology.+Benin+City:+CRC+Press+LLC,+2000.&ots=etYpXp0nsc&sig=CIZxMzklNeVzLLaiv3vJkjVI9lo#v=onepage&q&f=false>> Acesso em: 30 jul. 2023.

FAMASUL – Federação da Agricultura e Pecuária Mato Grosso do Sul. Boletim semanal Casa Rural - Agricultura - Circular 509 23.05.2023 - Produtividade da Soja Safra 2022-2023. Disponível em < <https://portal.sistemafamasul.com.br/boletim-semanal-casa-rural-agricultura-circular-509-23052023-produtividade-da-Soja-safra-2022-2023>> Acesso em 10 jul 2023.

FAOSTAT. Crops Production 2021 data. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 29 mar. 2023.

FARIAS, F. J. C. et al. (2019). Controle biológico de pragas da Soja. In: EMATER-RS. Tecnologias para a produção de Soja. Porto Alegre: EMATER-RS, p. 207-214.

FONTES, Eliana Maria Gouveia; VALADARES-INGLIS, Maria Cleria. Controle biológico de pragas da agricultura. 2020.

FUNDAÇÃO ABC. Planilha de custos de mecanização agrícola. Maio de 2023. Disponível em < <https://fundacaoabc.org/wp-content/uploads/2023/06/PLANILHA-DE-CUSTO-DE-MECANIZACAO-MAIO-2023-1.pdf>> Acesso em 10 fev. 2024.

GAZZONI, Decio Luiz. A Soja no Brasil é movida por inovações tecnológicas. **Ciência e Cultura**, v. 70, n. 3, p. 16-18, 2018.

GOV – Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. Disponível em <<https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/biomas/cerrado>> Acesso em: 12 out. 2023.

GURR, Geoff M. et al. Multi-country evidence that crop diversification promotes ecological intensification of agriculture. **Nature plants**, v. 2, n. 3, p. 1-4, 2016.

LIMA, J. et al. Avaliação econômica das práticas agrícolas: Um estudo comparativo de custos na agricultura regenerativa e tradicional no cerrado. 2023. Disponível em < <file:///C:/Users/D%C3%AA/Desktop/CONGRESSO/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Final%20Reposit%C3%B3rio.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2024.

MAGALHÃES, B. P. et al. Control biológico en la producción de Soja: una revisión. **Revista Colombiana de Entomología**, v. 46, n. 1, p. 52-61. 2020.

MAPA. Projeto de lei nº658, de 2021. Dispõe sobre a classificação, tratamento e produção de bioinsumos por meio do manejo biológico *on farm*; ratifica o Programa Nacional de Bioinsumos e dá outras providências. Brasil.

MAPA.2021. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/propostas-legislativas/2271161>. Acesso em: 21 fev 2023.

MARTIN, K. et al. Soybean Diseases: A Review of Emerging and Re-Emerging Diseases, Yield Losses, and Management Strategies. **Plants**, v. 9, n. 11, p. 1-26. 2020.

MAZARO, S., DA SILVA, J. C., MEYER, M., & BUENO, A. D. F. Desafios na adoção de bioinsumos. Bioinsumos na cultura da Soja. Embrapa. Brasília, DF, p 78. 2022.

MULLER, Débora et al. Controle de percevejo-marrom em Soja com o uso de produtos Químicos e biológicos. In: **II Congresso Internacional das ciências agrárias COINTER**. 2017.

PENHA, Luiz AO et al. A Soja como alimento: valor nutricional, benefícios para a saúde e cultivo orgânico. **Embrapa Soja-Artigo de divulgação na mídia (INFOTECA-E)**, 2014.

RODRIGUES, G. F.; et al. Análise do custo de oportunidade no cultivo de milho sob sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 45-51. 2018.

SALVIANO, Paulo Alexandre Perdomo et al. Evidências de práticas sustentáveis na produção de Soja: ações coletivas de atores locais no Município de Rio Verde-GO. 2021. Disponível em <
<https://rima.ufrrj.br/jspui/bitstream/20.500.14407/9457/3/2021%20-%20Paulo%20Alexandre%20Perdomo%20Salviano.pdf>> Aceso em: 22 mai. 2024.

SANTOS, Adailson; DINNAS, Sophia; FEITOZA, Adriane. Qualidade microbiológica de bioprodutos comerciais multiplicados on farm no Vale do São Francisco: dados preliminares. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020.

SOUZA, D. F. et al. Controle biológico aplicado à cultura da Soja. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 20, n. 3, p. 247-254. 2020.

STABACK, Daiane et al. Uso do MIP como estratégia de redução de custos na produção de soja no estado do Paraná. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 2, n. 1, p. 187-200, 2020.

TELLES, PCS. Materiais para Equipamentos de Processo. 6ª. Ed. Rio de Janeiro: **Editora Interciência**, 275p, 2003.

TINOCO, Tatiane José; DA SILVA, Priscila Loire; DA ROCHA, Ana Paula Soares. Manejo integrado de pragas e doenças em sistemas agrícolas. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 11, p. 22675-22697, 2023.

USDA - United States Department of Agriculture. Soy Explorer. Soy 2023 World Production. Disponível em <
<https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=2222000>> Acesso em: 19 jul. 2023.

VIDAL, Mariane Carvalho et al. Bioinsumos: a construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.

VIDAL, Mariane C.; SALDANHA, Rodolfo; VERISSIMO, Mario Alvaro Aloisio. Bioinsumos: o programa nacional e a sua relação com a produção sustentável. **Sanidade vegetal: uma estratégia global para eliminar a fome, reduzir a pobreza, proteger o meio ambiente e estimular o desenvolvimento econômico sustentável./Organizadores Diego Medeiros Gindri, Patrícia Almeida Barroso Moreira, Mario Alvaro Aloisio Verissimo.**—1. ed. Florianópolis: CIDASC, p. 382-409, 2020.

XAVIER, Vanessa Lucas. Programa Nacional de Bioinsumos: proposição de um sistema de monitoramento de biofábricas. 2022. Disponível em <<https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/7351/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20%20Vanessa%20Lucas%20Xavier.pdf>> Acesso em: 20 jul 2023.

ZHANG, X. et al. Insect pests and their control strategies for soybean production in China: a review. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 18, n. 4, p. 755-769. 2019.

CAPÍTULO 3 - CUSTO-BENEFÍCIO, DOS MANEJOS DE PRAGAS: CONTROLE BIOLÓGICO *ON FARM*, MANEJO INTEGRADO E MANEJO CONVENCIONAL

Resumo: Diante da necessidade de estudos que comparem a eficiência agronômica e econômica dos manejos de pragas e doenças na Soja, o objetivo desta pesquisa foi avaliar qual manejo é mais vantajoso economicamente ao produtor rural: Controle biológico *On Farm*, Manejo Integrado ou Manejo Convencional. Foi instalado em experimento de campo, com delineamento em 36 blocos ao acaso na Safra 2022/2023 e 48 blocos ao acaso nas Safras 2023/2024 e 2024/2025, em arranjo fatorial 3x3, sendo 3 cultivares de Soja (uma convencional e duas transgênicas) e 3 manejos (Convencional, Integrado e Biológico *On Farm* + testemunha). Foram avaliados semanalmente o ataque de percevejos, lagartas e doenças nos três manejos, além da produtividade ao final da safra. Foram comparados os custos e receitas de produção em cada cultivar e manejo. Os resultados demonstram que a escolha da cultivar não influencia nos resultados produtivos dos manejos nas três safras testadas. Estatisticamente não houve diferença na produtividade nos três manejos, porém ao comparar a produção de sacas por hectare, o Manejo Integrado destacou-se por ser a opção mais vantajosa, pois, apesar de o manejo Biológico ter a maior redução de custos (acima de 72% de economia em relação ao Químico), o Manejo Integrado (com reduções de custo entre 43% e 56,92%) é a melhor opção, pois garante a manutenção das maiores produtividades.

Palavras-chave: Bioinsumos; bioeconomia; manejos alternativos; sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

O uso de agroquímicos na agricultura é uma prática secular, com registros históricos de aplicação de sulfurados no século XI e arsênio em 1700. Contudo, a "era química" na produção vegetal, e o reconhecimento da eficiência do controle químico, foram marcados pela introdução do DDT (diclorodifeniltricloroetano) por Muller em 1931 (Nunes; Ribeiro, 1999). A necessidade de aumentar a produção de alimentos durante a Segunda Guerra Mundial (1939-1945) impulsionou drasticamente o desenvolvimento desses compostos (Bernardes et al., 2015).

Inicialmente, na "era de ouro" dos agroquímicos, prevalecia um otimismo excessivo de que o avanço tecnológico erradicaria pragas e patógenos (McNeill, 2001). No entanto, essa visão negligenciou a capacidade adaptativa e evolutiva dos organismos sob a pressão dos agroquímicos. Um exemplo notório é o DDT, banido nos EUA em 1972 devido a danos a organismos não-alvo, sua persistência no ambiente e bioacumulação nos tecidos, causando impactos de longo prazo (Barnhoorn et al., 2009).

Apesar dos desafios, produtos químicos, juntamente com variedades de plantas aprimoradas e maquinário, foram essenciais para o aumento da produtividade

alimentar, reduzindo perdas por plantas daninhas, doenças e pragas (Aktar et al., 2009). Contudo, a persistência da crença entre muitos produtores de que agroquímicos são a única solução é um obstáculo para a adoção de uma produção sustentável. Esse cenário é frequentemente reforçado por consultores técnicos que, impulsionados pelo marketing e altos investimentos da indústria, promovem o uso desses produtos em detrimento das técnicas de Manejo Integrado de Pragas (MIP) (Khan et al., 2010; Erthal Junior et al., 2011).

Em resposta às preocupações crescentes com sustentabilidade, a avaliação da toxicidade dos defensivos agrícolas tornou-se crucial para orientar a escolha de produtos seletivos, visando um controle de pragas sustentável que minimize danos a organismos não-alvo (Gonçalves, 2017). Historicamente, o conceito de "controle de pragas" evoluiu para "manejo de pragas", que busca uma abordagem equilibrada para manter as populações em níveis economicamente aceitáveis, sem erradicá-las, por razões ambientais e econômicas (Dara, 2019).

Nesse contexto, o interesse por métodos de controle de pragas com menor impacto ambiental tem aumentado significativamente. O manejo biológico, em particular, emerge como uma alternativa ou complemento promissor aos agroquímicos, pois reduz substancialmente sua aplicação, conforme demonstrado em diversos estudos (Sá et al., 2016; Lopes; Paixão; Cruz, 2018). Pesquisas indicam que o controle biológico de pragas da soja, utilizando biopesticidas por inundação, é mais seguro, mantém a produtividade comparável à dos químicos e preserva a sobrevivência de insetos benéficos, como predadores e parasitoides, essenciais para o equilíbrio ambiental (Prayogo et al., 2021).

No entanto, a implementação do Manejo Integrado de Pragas (MIP) e, por extensão, do controle biológico, ainda enfrenta barreiras significativas. Um estudo global com profissionais de MIP revelou que treinamento e suporte técnico inadequados são os principais obstáculos para sua adoção efetiva (Parsa et al., 2014).

Dado o contexto apresentado, surge a seguinte questão de pesquisa: Qual manejo de pragas e doenças, proporciona o melhor custo-benefício?

Para responder a essa questão, o objetivo geral deste estudo foi analisar o desempenho agrônomo e financeiro, dos manejos biológico *On Farm*, manejo integrado e manejo convencional na Soja. Para atender ao objetivo geral deste estudo, foram avaliados o ataque de pragas e doenças nos diferentes manejos. Avaliou-se a produtividade e o desempenho de três cultivares de Soja nos diferentes

manejos, assim é possível identificar qual manejo e qual cultivar tem o melhor desempenho agrônômico nos três manejos. E, por fim, comparou-se o custo-benefício, identificando qual manejo e qual cultivar tem o melhor desempenho econômico.

Este estudo está dividindo em Revisão bibliográfica, onde são apresentados os principais conceitos a respeito de Controle Biológico *On Farm* e microrganismos entomopatogênicos. Seguido de Material e métodos, com a descrição detalhada das análises do experimento de campo. Resultados e discussão e por fim as conclusões.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção, serão apresentados os conceitos e definições fundamentais relacionados ao Controle Biológico, com foco nos Microrganismos Entomopatogênicos, incluindo Fungos Entomopatogênicos, Bactérias Entomopatogênicas e a tecnologia do *Compost Tea*.

2.1. Controle Biológico

O controle biológico, definido como o uso de organismos vivos para reduzir a densidade populacional ou o impacto de pragas, figura entre os métodos de controle não químico mais antigos empregados na agricultura (Eilenberg *et al.*, 2001). Essa estratégia atua na redução de populações de organismos indesejáveis em agroecossistemas, onde inimigos naturais mantêm sob controle as populações com potencial nocivo à atividade humana, como as pragas agrícolas (Fontes; Valadares-Inglis, 2020). Para popularizar a técnica, é fundamental que as agências de fomento aumentem o investimento nesta área, visto que esses organismos são reconhecidamente eficientes em muitos programas de controle de insetos nocivos (Erthal Junior *et al.*, 2011).

Diversos estudos evidenciam a eficácia de microrganismos como agentes de controle biológico. Cecconello *et al.* (2022) avaliaram o desempenho de fungos entomopatogênicos no controle de *Euschistus heros* (percevejo marrom) na cultura da soja. Os resultados foram significativos, aumentando o índice de controle em campo em aproximadamente 20%, demonstrando a viabilidade do uso desses fungos contra *E. heros*. Especificamente, o isolado IBCB-n46 (*Hirsutella amazonensis*) mostrou 100% de eficiência em laboratório e, em campo, causou mais de 20% de mortalidade.

No contexto do controle de doenças, Borges *et al.*, (2022) investigaram a ação de isolados de fungos e bactérias entomopatogênicas na indução de mecanismos de resistência da soja à antracnose via tratamento de sementes. Seus resultados demonstraram que *Trichoderma asperellum* BV10 reduziu o diâmetro da lesão de antracnose em até 61%, evidenciando seu potencial no controle dessa doença e na melhoria da resposta de defesa contra *Colletotrichum truncatum*.

Globalmente, pesquisas também reforçam o potencial desses agentes. Na Rússia, bactérias foram testadas com sucesso no controle de doenças da soja, mostrando-se promissoras para prevenir e tratar a infecção por *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* (Tarakanov *et al.*, 2022). No Brasil, bactérias promoveram o crescimento fisiológico e a resistência da soja aos sintomas de infecção por *Sclerotinia sclerotiorum* (Vitorino *et al.*, 2020). No Canadá, Arfaoui *et al.*, (2020) demonstraram que bactérias reduziram significativamente os efeitos de *Phytophthora sojae*, causadora de podridão radicular. Corroborando, Sallam *et al.*, (2021), no Egito, observaram que fungos entomopatogênicos reduziram a podridão radicular e promoveram o crescimento em plantas de soja.

Apesar dos benefícios, a multiplicação de microrganismos "On Farm" apresenta desafios. O estudo de Santos *et al.*, (2020) no Vale do São Francisco-BA, avaliando a qualidade de multiplicados "On Farm" em cinco propriedades, identificou problemas na qualidade microbiológica, o que pode representar riscos à saúde dos manipuladores e consumidores, além de comprometer a eficiência agrônoma dos inoculantes. Condições inadequadas de limpeza e manipulação foram observadas nas unidades analisadas. Contudo, a viabilidade econômica é promissora.

Em Monte Carmelo-MG, a avaliação da eficiência agrônoma e financeira de microrganismos multiplicados "On Farm" no café demonstrou eficácia no controle de pragas e doenças, com custos de R\$ 244,07/ha no manejo biológico versus R\$ 693,10/ha no convencional, tornando o manejo biológico 64,8% mais barato (Barboza, 2022). Similarmente, em Montividiu-GO, um produtor que adotou o sistema Biológico "On Farm" aliado a plantas de cobertura desde 2016/2017, em 1.500 ha, obteve, na safra 2021/2022, uma redução de custos de 67% e um aumento de 42% na produtividade (GAAS, 2022).

2.2.1. Microrganismos entomopatogênicos

Microrganismos capazes de causar doenças em insetos ou plantas são denominados, respectivamente, entomopatógenos ou fitopatógenos, e são considerados inimigos naturais com potencial para uso como agentes de controle biológico (Sujii *et al.*, 2020). Os entomopatógenos responsáveis por doenças de insetos incluem vírus, fungos, bactérias e nematóides (Oliveira *et al.*, 2006). É relevante destacar que fungos entomopatogênicos, em particular, não atacam plantas e raramente há relatos de infecção em mamíferos ou outros vertebrados (Zimmermann *et al.*, 2020).

Os fungos desempenham um papel crucial na regulação natural de populações de insetos e ácaros-praga. Sua ação ocorre após o contato com o corpo do hospedeiro, colonizando o inseto e levando-o à morte em poucos dias (Mascarin; Pauli, 2010). O emprego conjunto de fungos entomopatogênicos com inimigos naturais e inseticidas químicos ou botânicos pode proporcionar maior eficácia na supressão de espécies-praga em monocultivos. Essa abordagem integrada visa reduzir o impacto ambiental e o número de aplicações de inseticidas no campo, gerando economia e contribuindo para a conservação de inimigos naturais já presentes no agroecossistema (Silva *et al.*, 2017). Dessa forma, o controle químico deve ser encarado como um auxiliar do controle biológico para a obtenção de resultados satisfatórios e mais duradouros (Meissle *et al.*, 2015; Primavesi, 2016; Thancharoen *et al.*, 2018).

2.2.2. Fungos entomopatogênicos

Fungos entomopatogênicos são aplicados no controle de pragas do solo por incorporação direta de um veículo inerte ou nutritivo contendo propágulos fúngicos (conídios ou micélios). Para pragas que se alimentam das folhas, a aplicação é feita por pulverizações de conídios em formulações que contêm substâncias aditivas como espalhantes adesivos (Brownbridge, 2006; Jaronski, 2008; 2010; Lacey *et al.*, 2015).

Entre os atributos favoráveis para o uso de fungos entomopatogênicos no controle biológico, destaca-se seu largo espectro de ação, pois são capazes de colonizar diversas espécies de insetos e ácaros. Além disso, podem infectar o hospedeiro em todos os estágios de desenvolvimento, possuem boa capacidade de

multiplicação e dispersão no ambiente, e não são patológicos a mamíferos (Lacey *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2012).

Fungos como *Beauveria* e *Metarhizium* spp. tendem a se dispersar passivamente por correntes de vento, respingos de chuva, ou pelo contato de insetos suscetíveis com indivíduos mortos e infectados (Meyling; Eilenberg, 2006; Vega *et al.*, 2009). Assim como outros agentes microbianos, os fungos são uma ferramenta valiosa no manejo integrado de pragas, que busca gerenciar as populações abaixo do limite econômico, e não as eliminar. Consequentemente, o fungo não precisa atingir a mesma eficácia letal imediata de um pesticida químico (Mascarin *et al.*, 2016).

Outro fungo amplamente utilizado na agricultura como agente de biocontrole é o *Trichoderma harzianum*. Estudos indicam que *Trichoderma harzianum* é capaz de controlar insetos-praga tanto direta quanto indiretamente. Portanto, seu uso na agricultura é eficaz não apenas contra fitopatógenos, mas também contra insetos-praga, representando uma alternativa promissora para o desenvolvimento da agricultura sustentável (Poveda *et al.*, 2021).

Como qualquer tática de controle de pragas, o controle microbiano com fungos entomopatogênicos apresenta vantagens e desvantagens. Uma desvantagem é o tempo relativamente longo para induzir a morte dos hospedeiros, o que pode ser problemático apenas nos casos em que a sobrevivência prolongada do inseto na lavoura resulte em perdas econômicas significativas. No entanto, as vantagens do uso de fungos entomopatogênicos são diversas, destacando-se sua segurança para organismos vertebrados e para o meio ambiente, além da contribuição para a redução do emprego de produtos químicos nas lavouras (Valadares *et al.*, 2020).

2.2.3. Bactérias entomopatogênicas

As bactérias estão entre os microrganismos mais utilizados em programas de controle biológico de insetos de importância agrícola. A principal bactéria empregada é o *Bacillus thuringiensis* (Bt), que oferece vantagens como produção massal em meios relativamente baratos, longa vida de prateleira, aplicação com equipamentos convencionais, rápida morte larval e pequenos efeitos sobre insetos e organismos não-alvo. No entanto, suas desvantagens incluem baixa persistência no campo, influência das condições climáticas na efetividade, suscetibilidade à inibição da

alimentação antes da ingestão da dose letal e o desenvolvimento de resistência (Polanczyk *et al.*, 2008; Erthal Junior *et al.*, 2011).

As bactérias entomopatogênicas são divididas em dois grupos: esporulantes e não esporulantes (Monnertat *et al.*, 2020). Insetos infectados por bactérias perdem o apetite, abandonam o alimento, regurgitam, tornam-se lentos e com diarreia. O tegumento perde o brilho e fica fosco após a penetração do patógeno na hemolinfa. As larvas ficam flácidas, paralisadas e não respondem ao toque. Após a morte, que ocorre entre 18 e 72 horas após a infecção, o inseto fica completamente melanizado (Erthal Junior *et al.*, 2011).

Entre as rizobactérias promotoras de crescimento vegetal mais amplamente estudadas, destaca-se o *Bacillus subtilis*. Esta bactéria não apenas promove o crescimento de plantas, mas também é capaz de controlar fitopatógenos por diversos mecanismos, incluindo a melhoria da disponibilidade de nutrientes, a alteração da homeostase de fitohormônios, a produção de antimicrobianos e o desencadeamento de resistência sistêmica induzida (Blake *et al.*, 2021).

2.2.4. *Compost tea*

O *Compost Tea*, ou Chá Composto, é uma solução que contém uma diversidade de organismos, predominantemente bactérias e fungos, que participam da decomposição da matéria orgânica (SHABAN *et al.*, 2015). Sua aplicação, seja por encharcamento do solo ou pulverização foliar, tem demonstrado a capacidade de diminuir as doenças das plantas (Scheuerell; Mahaffee, 2022; Scheuerell; Mahaffee, 2004). Além disso, serve como uma alternativa potencial ao uso de fungicidas químicos sintéticos (Siddiqui *et al.*, 2009).

Teas (2004) descreve os principais objetivos de desempenho do *Compost Tea* na agricultura: desenvolver a supressão de doenças e reduzir a necessidade de agroquímicos; fornecer nutrientes solúveis em água para diminuir a dependência de fertilizantes e os custos associados; aumentar a população e diversidade de microrganismos do solo, melhorando a retenção hídrica, a profundidade de enraizamento e o crescimento da planta; colonizar a superfície foliar, restringindo o crescimento de patógenos; secretar metabólitos secundários que atuam nas superfícies das plantas; e parasitar diretamente patógenos, estimulando o sistema de defesa natural da planta.

Vivencia-se uma nova era na agricultura, caracterizada pelo crescente emprego de agentes microbiológicos tanto como impulsionadores de crescimento quanto no controle biológico de pragas nas culturas. A adoção de produtos derivados de microrganismos, como bactérias e fungos, tem experimentado um notável aumento global, com crescimento particularmente significativo no Brasil (GABARDO *et al.*, 2021).

O desenvolvimento de produtos biológicos apresenta custos substancialmente inferiores em comparação com os produtos químicos, com estimativas entre 2 e 10 mil dólares para os biológicos, versus 250 mil dólares para os químicos. Além disso, o aumento do custo e a redução na eficiência dos produtos químicos, juntamente com o crescimento da população mundial, têm impulsionado a preferência pelo uso de produtos biológicos (MONNERAT *et al.*, 2020).

Embora a eficácia agronômica dos bioinsumos já tenha sido estabelecida por evidências científicas pontuais, o desempenho do Controle Biológico *On Farm*, há uma lacuna na literatura que impede a tomada de decisão econômica do produtor: a carência de análises multissafras que comparem seu uso comparado o manejo químico e integrado a partir de métricas econômicas robustas e de longo prazo. O presente estudo preenche essa lacuna ao utilizar uma simulação determinística de custo-benefício, abrangendo três safras consecutivas e quatro escalas de produção, oferecendo assim uma validação econômica concreta e o subsídio financeiro necessário para que os agricultores e a comunidade científica avaliem e promovam a transição para modelos agrícolas mais sustentáveis.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em quatro etapas principais: (1) condução do experimento de campo em três safras consecutivas (2022/23, 2023/24 e 2024/25); (2) coleta de dados agronômicos de produtividade, pragas e doenças; (3) análises laboratoriais da estrutura biológica e fertilidade do solo; e (4) análise de viabilidade econômica dos manejos, considerando custos reais de insumos e práticas agrícolas.

3.1. Campo Experimental

O experimento de campo foi conduzido na área experimental da Fazenda São Thomaz, localizada no Município de Maracaju, no estado de Mato Grosso do Sul, no

Bioma Cerrado, com as coordenadas latitude 21°42'26.48"S e longitude 55°03'25.12"O.

Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região é do tipo Aw (tropical úmido), com precipitações médias anuais de 1200 mm; temperaturas máximas e mínimas de 33°C e 19,6°C, respectivamente (Lopes *et al.*, 2012). A região possui relevo levemente ondulado com altitude média de 400 m. O solo da região foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (Embrapa, 2006).

3.1.1. Experimento - Safras de Soja 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025

Na primeira safra do experimento, o plantio de Soja foi realizado no dia 04 de outubro de 2022, as avaliações foram realizadas semanalmente e a colheita ocorreu entre os dias 10 e 20 de março de 2023. Na segunda safra, o plantio de Soja foi realizado no dia 10 de outubro de 2023, as avaliações foram realizadas semanalmente e a colheita ocorreu no dia 14 de fevereiro de 2024. Na terceira safra, o plantio foi realizado em 10 de outubro de 2024, com avaliações semanais e a colheita ocorreu em 08 de fevereiro de 2025.

3.1.2. Delineamento experimental

Na Safra 2022/2023, o delineamento da pesquisa foi realizado em blocos casualizados em arranjo fatorial 3x3 (Figura 2) (Fisher, 1963), sendo 3 cultivares de Soja (Fibra 64i61 RSF IPRO, Nexus 64IX66 RSF I2x e BRS 511) e 3 manejos (Convencional, Integrado e Biológico *On Farm*). Nas Safras 2023/2024 e 2024/2025, o delineamento em arranjo fatorial 3x4 (Figura 3) sendo 3 cultivares de Soja (Fibra 64i61 RSF IPRO, Nexus 64IX66 RSF I2x e BRS 511) e 4 manejos (Convencional, Integrado e Biológico *On Farm*), além da testemunha onde não foi realizado nenhum manejo para o controle de pragas e doenças.

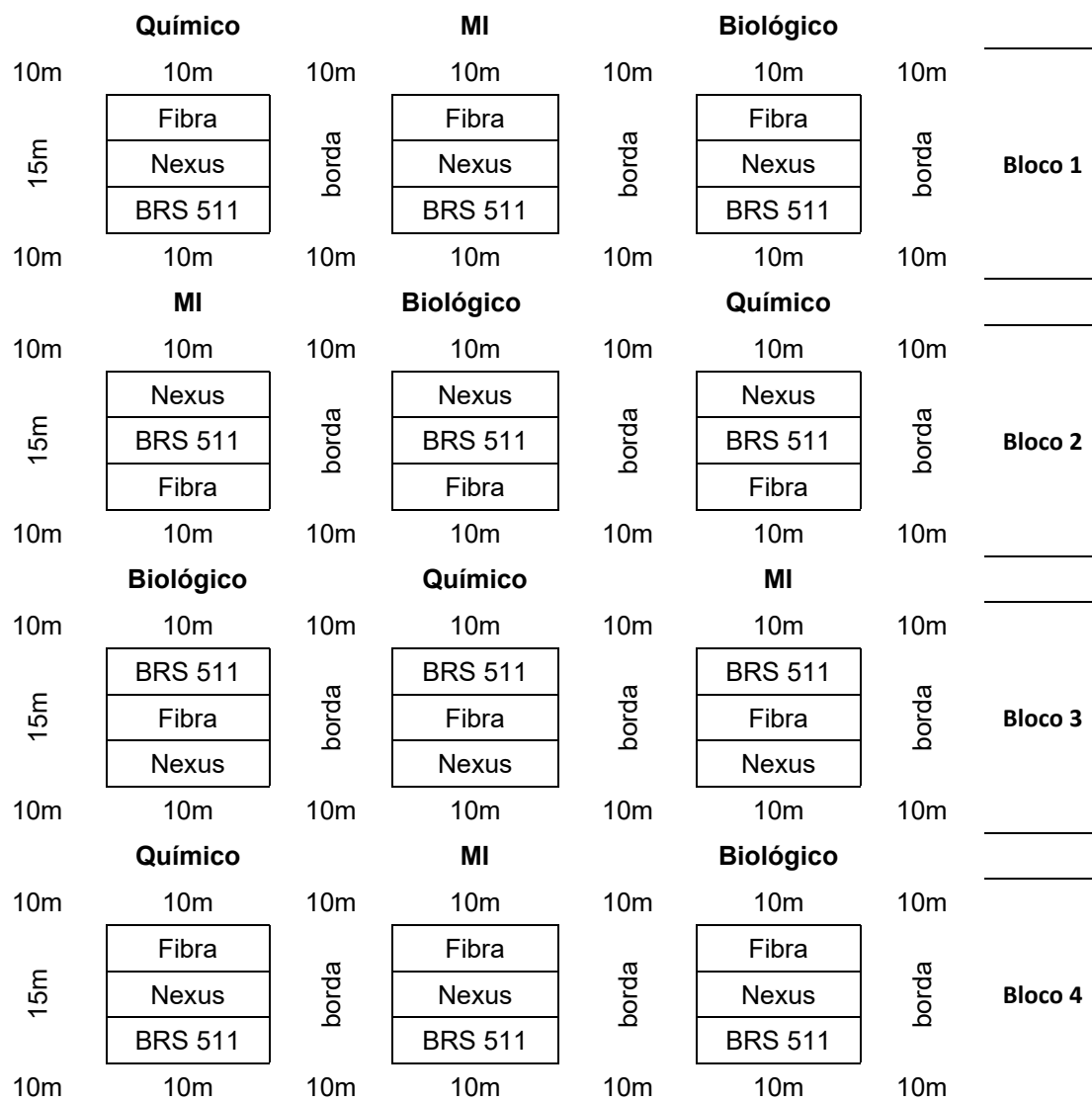


Figura 2. Croqui do campo experimental Safrá 2022/2023, com a descrição das cultivares e manejos em cada bloco de plantio.
Fonte: Elaboração própria.

No primeiro ano de experimento (Safrá 2022/2023), optou-se por testar a bordadura com 10 metros de distância, o que limitou o espaço do experimento e por este motivo, não foi incluída a testemunha. Após avaliação criteriosa, nas duas safras seguintes, a bordadura foi diminuída para 5 metros e incluso o tratamento “Testemunha”, conforme apresentado na Figura 3.

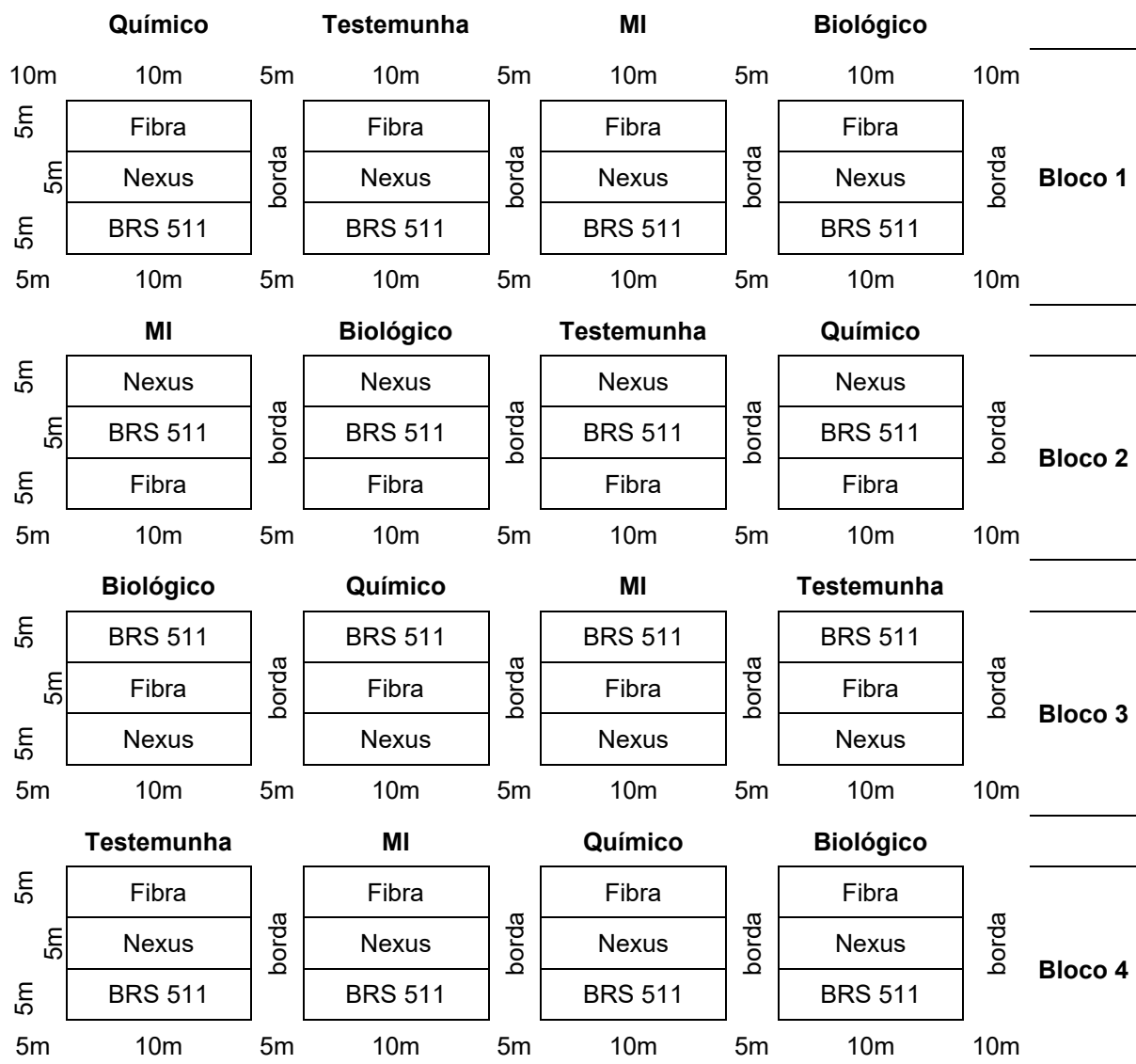


Figura 3. Croqui do campo experimental Safras 2023/2024 e 2024/2025, com a descrição das cultivares e manejos em cada bloco de plantio.
Fonte: Elaboração própria.

As Figuras 2 e 3 ilustram a distribuição das cultivares de soja empregadas no estudo. Foram selecionadas três cultivares, incluindo duas transgênicas amplamente utilizadas na região e uma convencional, com o objetivo de determinar qual apresenta o melhor desempenho sob os diferentes manejos.

A cultivar transgênica Fibra 64i61 RSF IPRO possui um peso de mil grãos de aproximadamente 156 gramas, crescimento indeterminado e ciclo de cerca de 136 dias, pertencendo ao grupo de maturação 6.4. Demonstra resistência a Cancro da Haste (*Meridionalis*), Mancha Olho de Rã, Pústula Bacteriana e Podridão Radicular de *Phytophthora* (Raça 1).

Em contraste, a cultivar transgênica Nexus - Bmx 64ix66 Rsf I2x apresenta um peso de mil grãos de cerca de 154 gramas, crescimento indeterminado e ciclo de

aproximadamente 111 dias, também pertencente ao grupo de maturação 6.4. É resistente a Cancro da Haste (*Meridionalis*), Pústula Bacteriana e Podridão Radicular de *Phytophthora* (Raça 1), mas é suscetível à Mancha Olho de Rã.

A cultivar convencional BRS 511 distingue-se pelo maior peso de mil grãos, em torno de 185 gramas. Possui crescimento indeterminado, ciclo de aproximadamente 115 dias e pertence ao grupo de maturação 6.4.

3.1.3. Preparo do solo e plantio

Neste experimento, antes do plantio, foram distribuídos 300 kg/ha do adubo 04.30.10 e 120 kg/ha de KCL. Na dessecação pré-plantio e pós-plantio, foram utilizados herbicidas recomendados para a cultura, conforme recomendações de assistências técnicas da região.

3.1.4. Análise da estrutura biológica do solo

Para identificar os impactos dos diferentes manejos na estrutura biológica do solo, foram realizadas análises utilizando a Tecnologia de Bioanálise do Solo (BioAs). Este método avalia as enzimas Arilsulfatase e Beta-glicosidase, bioindicadores associados aos ciclos do Enxofre e Carbono, respectivamente. Essas enzimas, relacionadas ao potencial produtivo e à sustentabilidade do solo, são cruciais para avaliar a saúde do solo. Complementarmente, a análise Fertbio avaliou a fertilidade química e biológica do solo (Embrapa, 2020).

As amostras foram coletadas na profundidade de 0-10 cm em cinco pontos por parcela, abrangendo cada manejo e a testemunha, imediatamente após a colheita da cultura anterior (milho). Essas amostras foram então enviadas a um laboratório credenciado para a análise BioAs. Para fins comparativos, novas amostras foram coletadas nos mesmos pontos ao final das safras, após a colheita, permitindo identificar possíveis alterações na estrutura biológica do solo entre os três manejos avaliados.

3.1.5. Manejos de pragas e doenças

O manejo convencional foi realizado conforme realidade dos produtores da região nas datas e dosagens usuais, conforme Tabela 1.

Tabela 1. Manejo convencional de pragas e doenças da Soja.

22/23	23/24	24/25	Produto	Dose	Unidade
1 ^a	1 ^a	1 ^a	Orkestra	0,30	L/ha
			Engeo Pleno S	0,30	Kg/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			CT-Green	0,20	L/ha
2 ^a	2 ^a	2 ^a	Sphere Max	0,15	L/ha
			Engeo Pleno S	0,30	L/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			CT-Green	0,20	L/ha
3 ^a	3 ^a	3 ^a	Orkestra	0,50	L/ha
			Engeo Pleno S	0,30	L/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			CT-Green	0,20	L/ha
-	4 ^a	-	Adesil	0,05	L/ha
			Acefato	0,80	Kg/ha
			Kaiso	0,10	L/ha

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os agrotóxicos empregados no manejo convencional (Tabela 1), atuam através de diversos mecanismos bioquímicos e fisiológicos, visando o controle de pragas e doenças. O fungicida Orkestra SC (BASF, 2025), por exemplo, combina o Fluxapiraxade e a Piraclostrobina, que inibem, respectivamente, a respiração celular e o transporte de elétrons nos fungos, conferindo ação sistêmica, curativa e erradicante. Similarmente, o inseticida Engeo Pleno S (Syngenta, 2024) atua com Tiametoxam, que superestimula o sistema nervoso dos insetos, e Lambda-cialotrina, que afeta os canais de sódio, proporcionando ação de contato, ingestão e sistêmica. Para otimizar a aplicação desses defensivos, utiliza-se o adjuvante Adesil (Sumitomo Chemical Brasil, 2025), um espalhante adesivo que melhora a cobertura e penetração na superfície foliar. Complementarmente, o CT-Green atua como adjuvante e fertilizante foliar, com a adição de óleo essencial de citronela para efeito repelente. No controle de doenças fúngicas, o fungicida Sphere Max (Bayer, 2021) opera com ação mesostêmica e sistêmica, inibindo o desenvolvimento do patógeno. Já para o controle de insetos, o Acefato (Adama, 2021), um organofosforado, inibe a acetilcolinesterase, causando superestimulação nervosa, enquanto o Kaiso (Sumitomo Chemical, 2023), à base de Lambda-cialotrina, afeta os canais de sódio, resultando em paralisia e morte.

Nas áreas de Manejo Controle Biológico, foram utilizados apenas os agentes de Controle Biológico *On Farm*, sem a aplicação de agrotóxicos para o controle de pragas e doenças (Tabela 2).

Tabela 2. Manejo biológico *On Farm* de pragas e doenças da Soja.

22/23	23/24	24/25	Produto	Dose	Unidade
1 ^a	1 ^a	1 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	1,00	L/ha
			Magnésio Mg8	0,20	L/ha
2 ^a	2 ^a	2 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Kurstaki</i>	1,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	1,00	L/ha
3 ^a	3 ^a	3 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Aizawai</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Kurstaki</i>	1,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	2,00	L/ha
4 ^a	4 ^a	-	<i>Bacillus Pumilus</i>	2,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	2,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	2,00	L/ha
			Compost Tea	2,00	L/ha
			CT-Green	0,20	L/ha
-	5 ^a	-	<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	4,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Aizawai</i>	4,00	L/ha

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme tabelas 1 e 2, apresenta-se o Modo de Ação dos Agentes Biológicos multiplicados *On Farm*, utilizados nos Manejos Biológico e Integrado. *Bacillus thuringiensis* (Bt - *Kurstaki* e *Aizawai*) (Bactéria entomopatogênica): Produz toxinas cristalinas (Cry) que, ao serem ingeridas por insetos suscetíveis (principalmente lagartas), formam poros no intestino, levando à paralisia e morte por septicemia (Galzer; Azevedo Filho, 2016). *Chromobacterium subtsugae* (Bactéria entomopatogênica): Atua produzindo metabólitos secundários que são tóxicos ou disruptivos para o sistema fisiológico de insetos-praga após a ingestão, resultando em sua morte (Vöing *et al.*, 2015).

Metarhizium anisopliae e *Beauveria bassiana* (Fungos entomopatogênicos): Parasitam insetos. Os esporos germinam na cutícula do hospedeiro, penetram e

proliferam internamente, liberando toxinas e enzimas que causam a morte do inseto e, posteriormente, a esporulação externa para novas infecções (Peng *et al.*, 2022).

Bacillus subtilis (Bactéria promotora de crescimento e biocontrole): Produz metabólitos antimicrobianos, compete por nutrientes e espaço com patógenos, induz resistência sistêmica na planta e promove o crescimento vegetal (Junior *et al.*, 2022).

Bacillus pumilus (Bactéria promotora de crescimento e biocontrole): Produz lipopeptídeos e enzimas que afetam patógenos, induz resistência sistêmica e promove o crescimento da planta pela solubilização de nutrientes e produção de fitohormônios (Sandini; Nakatani; Gato, 2025).

Compost Tea (Solução microbiana): Concentra microrganismos benéficos que suprimem doenças (por competição e produção de antimicrobianos), melhoram a nutrição da planta (ciclagem de nutrientes) e promovem o crescimento vegetal, além de repovoar o solo com microbioma benéfico (Naidu, *et al.*, 2010).

Nas áreas de manejo integrado, foram utilizados os agentes de controle biológico *On Farm*, com a aplicação de agroquímicos ao final do ciclo (Tabela 3).

Tabela 3. Manejo integrado de pragas e doenças da Soja.

22/23	23/24	24/25	Produto	Dose	Unidade
1 ^a	1 ^a	1 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	1,00	L/ha
			Magnésio Mg8	0,20	L/ha
2 ^a	2 ^a	2 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Kurstaki</i>	1,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	1,00	L/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			Titanium S	0,40	L/ha
3 ^a	3 ^a	3 ^a	<i>Bacillus Pumilus</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Aizawai</i>	1,00	L/ha
			<i>Bacillus Thuringiensis Subsp. Kurstaki</i>	1,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	1,00	L/ha
			Compost Tea	2,00	L/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			Engeo Pleno S	0,30	L/ha
			Orkestra	0,20	L/ha
4 ^a	4 ^a	-	CT-Green	0,20	L/ha
			<i>Bacillus Pumilus</i>	2,00	L/ha
			<i>Bacillus Subtilis</i>	2,00	L/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	2,00	L/ha
			Compost Tea	2,00	L/ha
			CT-Green	0,20	L/ha
			Adesil	0,05	L/ha
			Engeo Pleno S	0,30	L/ha

Continua...

-	5 ^a	-	Adesil	0,05	L/ha
			Acefato	0,50	Kg/ha
			<i>Chromobacterium Subtsugae</i>	4,00	L/ha

Fonte: Resultados da pesquisa.

A quantidade de aplicações, conforme orientação de Assistência Técnica local, tanto no manejo convencional, quanto no Integrado e Biológico, variou entre as safras, pois as condições climáticas foram diferentes ocasionando em diferentes índices de pragas e doenças.

3.1.6. Avaliações de pragas e doenças

Semanalmente foram amostrados 2 pontos em cada parcela de pesquisa, aplicando o método do pano-de-batida. A técnica do pano-de-batida é utilizada para avaliar o nível populacional de pragas na cultura da Soja. O procedimento envolve um pano branco de aproximadamente 1 metro de comprimento que é estendido abaixo da planta de Soja a ser avaliada. Com cuidado, as plantas de Soja são agitadas ou batidas sobre o pano, permitindo que as pragas que estejam na planta caiam no pano. Após a batida, as pragas presentes no pano são observadas e contadas (Guedes *et al.*, 2006). Foram tabuladas as principais pragas da região, lagartas e percevejos.

Para avaliar as doenças, foi utilizado o Manual de identificação de doenças da Soja (EMBRAPA, 2014). Assim, foi possível identificar e avaliar o grau de severidade das doenças encontradas neste experimento. Os dados das contagens de pragas e doenças encontradas foram tabulados no Microsof Excel®, para elaboração dos gráficos de flutuação de pragas e análise de severidade das doenças.

3.1.7. Avaliações da produtividade e análise estatística

Nas Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025, a produtividade de grãos foi determinada amostrando-se uma área de 5 metros em 3 linhas, dentro de cada parcela. Posteriormente foram classificadas e pesadas as amostras colhidas.

Os dados obtidos, após os testes de normalidade e homoscedasticidade, foram submetidos à análise de variância. Na presença de efeito significativo, foi aplicado o teste de *Tukey*, a 5% de probabilidade considerando, para tanto, efeito significativo ($p < 0,05$) na análise de variância para os dados qualitativos. As análises estatísticas foram feitas utilizando o *Software R*®.

3.2. Viabilidade econômica

Para cada tratamento dos três manejos na Soja, o convencional, o manejo integrado e o controle biológico, foram elaboradas tabelas de custos no programa Microsoft Excel® dos produtos e doses utilizadas, para assim, identificar as diferenças nos custos entre cada manejo e, analisar a relação custo-benefício da substituição do manejo convencional por alternativas mais sustentáveis como o manejo integrado ou o controle biológico. Foram tabulados os resultados da produtividade nos três manejos e testemunha. Após a realização da análise de viabilidade econômica, foi possível identificar se a eficiência econômica na adoção do controle biológico *On Farm* é atrativa aos produtores rurais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

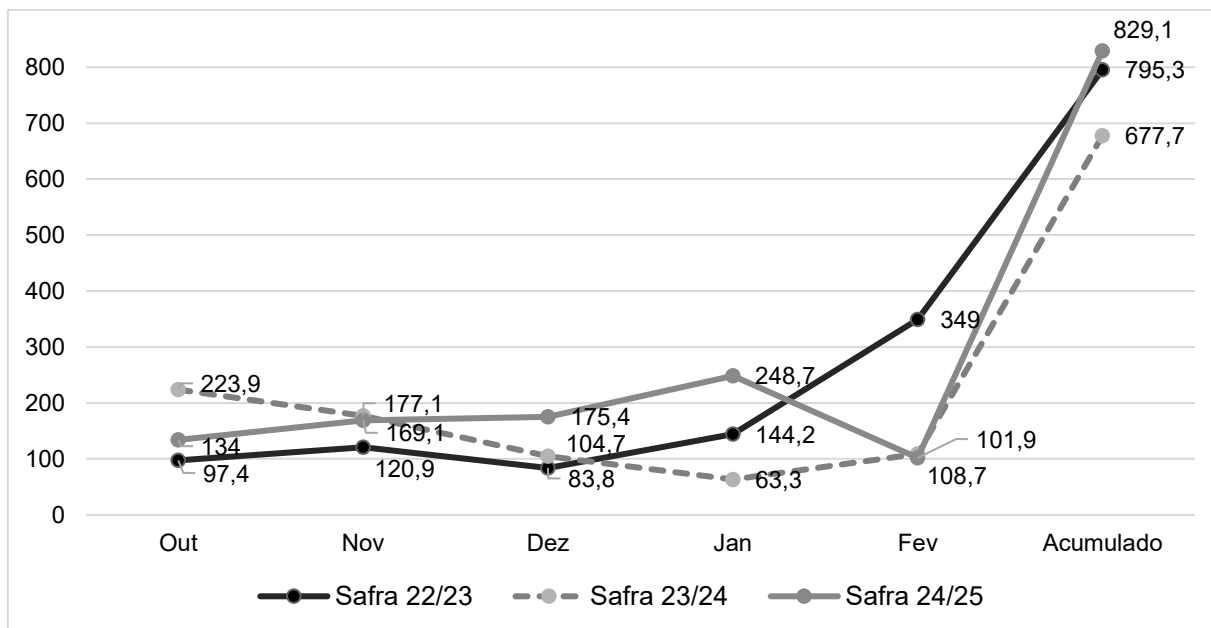
4.1. Exigências térmicas e hídricas

Seca ou excesso de chuvas, assim como temperaturas muito altas ou baixas, podem reduzir significativamente rendimentos em lavouras. A Soja apresenta melhor desenvolvimento com temperaturas entre 20 °C e 30 °C. Temperaturas altas acentuam o abortamento de flores e provocam a queda de vagens, além, do abortamento de grãos (Farias *et al.*, 2007). Estes problemas se intensificam quando, além de altas temperaturas, ocorrem *deficit* hídricos.

“Quando as altas temperaturas coincidem com períodos de baixa umidade do ar, pode haver o aparecimento de sementes verdes e as demais sementes podem ficar predispostas ao dano mecânico na colheita” (França-Neto *et al.*, 2012, p.).

No Gráfico 1, é possível observar a distribuição das chuvas ao longo dos meses de outubro a fevereiro das Safras de Soja 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025, na região de Maracaju-MS, onde o experimento foi implantado.

Gráfico 1. Precipitação pluviométrica, safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025 em Maracaju-MS.



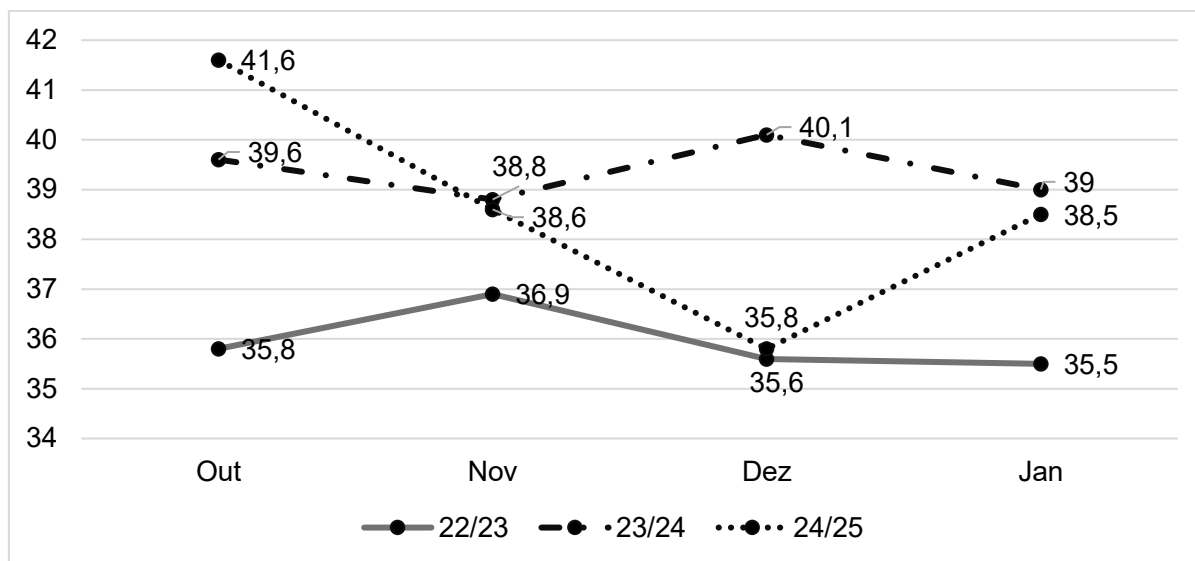
Fonte: Elaboração própria, de acordo com os dados da Estação Meteorológica da Fundação-MS, Maracaju-MS.

Após o plantio, na Safr 22/23, ocorreram chuvas nos quatro dias seguintes, totalizando 16,8 mm, seguidos de nove dias de estiagem e uma chuva de 44,7 mm, com chuvas regulares até o final do ciclo vegetativo e reprodutivo. Já na Safr 23/24, antes do plantio houve dois dias de chuva totalizando 127 mm, porém, após o plantio seguiu-se uma estiagem de dez dias, ocorreu uma chuva de 6,1 mm, seguido de diversos períodos de estiagem, com chuvas pouco significativas e temperaturas acima da média histórica para a região até o final do ciclo da cultura. Na Safr 24/25, no dia seguinte ao plantio, houve a precipitação de 49 mm, seguido de chuvas regulares semanalmente, atendendo as necessidades da cultura.

A Soja requer um volume total de água entre 450 mm e 800 mm por ciclo. A demanda hídrica aumenta à medida que a planta se desenvolve, atingindo seu pico durante a floração e o enchimento dos grãos, e diminuindo após esse período. Nos estádios reprodutivos, a ocorrência de déficit hídrico durante o enchimento dos grãos é mais prejudicial do que durante a floração. A seca não só reduz a taxa de acúmulo de matéria seca nos grãos, mas também antecipa a maturação e diminui o tamanho dos grãos (Neumaier *et al.*, 2020).

O Gráfico 2, apresenta os índices de temperatura atingidos na região ao longo do período vegetativo e reprodutivo nas 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

Gráfico 2. Temperatura máxima registrada em Maracaju-MS, durante as Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Elaborado pelo autor, de acordo com os dados da Estação Meteorológica da Fundação-MS, Maracaju-MS.

Na safra 2022/2023, a temperatura máxima aferida foi de 36,9°C, com nove registros excedendo 35°C. Em contraste, a safra 2023/2024 apresentou um cenário de estresse térmico mais pronunciado, com 35 dias registrando temperaturas superiores a 38°C, culminando em um pico de 40,1°C. Os meses de novembro e dezembro de 2023 foram particularmente críticos, caracterizados por prolongados períodos de elevadas temperaturas. Essa anomalia térmica coincidiu com as fases finais do estágio vegetativo e o início do estágio reprodutivo da soja, períodos fenológicos cruciais para a definição do rendimento, o que pode ter contribuído para um impacto negativo na produtividade.

Para a safra 2024/2025, a temperatura máxima atingiu 41,6°C em outubro. Ocorreram 15 dias com temperaturas acima de 35°C nos meses de outubro e novembro. No entanto, em dezembro, apenas cinco dias registraram temperaturas superiores a 35°C, e a média térmica se manteve estável nesse patamar até janeiro de 2025. Essa diferenciação nos padrões térmicos ao longo das safras estudadas evidencia a variabilidade climática e sua influência direta nos parâmetros agrônômicos da cultura da soja, sugerindo a necessidade de estratégias de manejo que mitiguem os efeitos do estresse térmico, especialmente durante os estádios mais sensíveis da planta.

De acordo com a FAMASUL-Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul (2024), a produtividade média ponderada em 2023/2024 de Mato

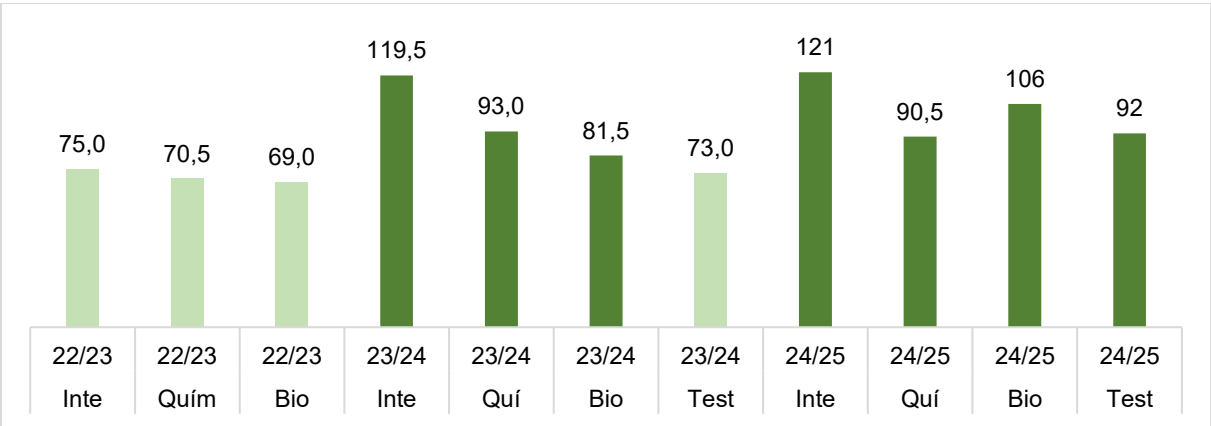
Grosso do Sul registrou uma das menores médias dos últimos 10 anos. Esse resultado foi influenciado principalmente por condições climáticas adversas, como altas temperaturas e *déficit* hídrico, que afetaram grande parte do estado. Lavouras severamente afetadas pela estiagem, plantadas em setembro e meados de outubro, provavelmente perderam entre 40% e 60% da área cultivada. Esse cenário adverso está associado à intensa atuação do fenômeno climático global *El Niño*, responsável pelo aumento da temperatura do ar.

4.2. Avaliação da estrutura biológica do solo, análise BioAs Fertbio.

Para determinar se os diferentes manejos testados impactam na qualidade biológica do solo, foram coletadas amostras de solo no início e no final do ciclo da Soja durante as três safras. Nos Gráficos 3 ao 11, apresenta-se os resultados das análises das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

Mendes et al., (2020), explica que β -glicosidase e a arilsulfatase, enzimas presentes nos solos e essenciais para a ciclagem do carbono e do enxofre, oferecem um meio valioso para desvendar a "memória" do solo. A análise da sua atividade enzimática permite compreender a história e o estado funcional deste ambiente, uma vez que tal atividade reflete a totalidade das enzimas provenientes tanto de microrganismos ativos como das gerações microbianas que habitaram esse solo no passado.

Gráfico 3. Análise da Atividade de Arilsulfatase, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.
Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

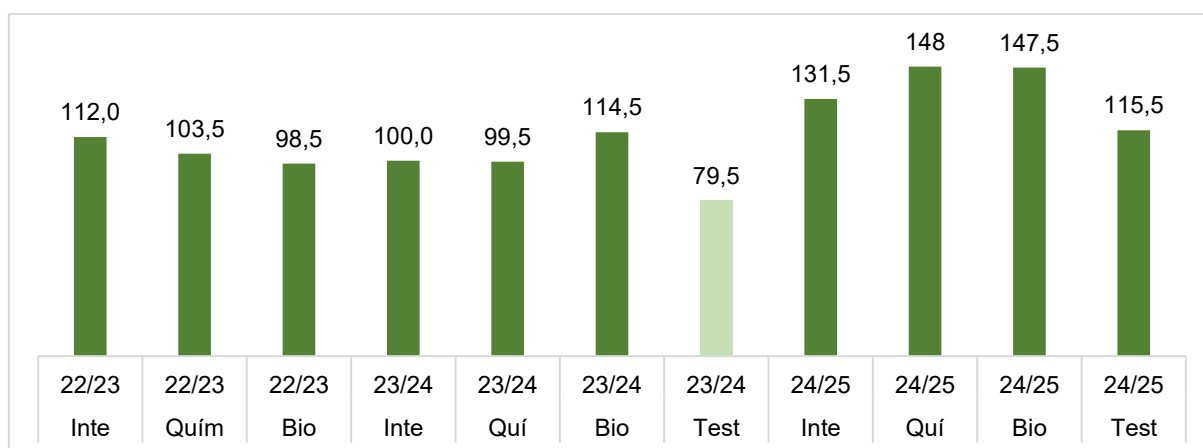
A análise de arilsulfatase (ARIL) (Gráfico 3), demonstrou que o Manejo Integrado exibiu os maiores valores e uma clara tendência de aumento ao longo do

tempo (75.00 para 121.00), indicando melhoria contínua na atividade biológica, a Testemunha manteve os menores valores (73.00 a 92.00). Os manejos Químico e Biológico, embora inicialmente intermediários, apresentaram aumentos significativos na última safra (Químico para 148.00 e Biológico para 147.50), com a Testemunha também mostrando um aumento, sugerindo uma melhoria generalizada na atividade da enzima em condições favoráveis ou um efeito acumulativo das práticas.

A atividade da arilsulfatase é essencial considerando o ponto de vista ambiental, pois transforma formas orgânicas de enxofre em inorgânicas, disponibilizando para a cultura da soja, impactando na produtividade da planta. As concentrações de enxofre em solos brasileiros podem variar de 0,1% em solos minerais até 1% em solos orgânicos, demonstrando que a maior parte do enxofre encontrado no solo está associada com a presença de compostos orgânicos (Pereira et al., 2016).

O Gráfico 4 ilustra a variação na atividade da enzima beta-glicosidase (BETA) em função dos diferentes manejos e safras de soja. A BETA é um indicador chave da ciclagem de carbono no solo, refletindo a atividade microbiana envolvida na decomposição da matéria orgânica.

Gráfico 4. Análise da Atividade de beta-glicosidase, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

Fonte: Resultados da pesquisa.

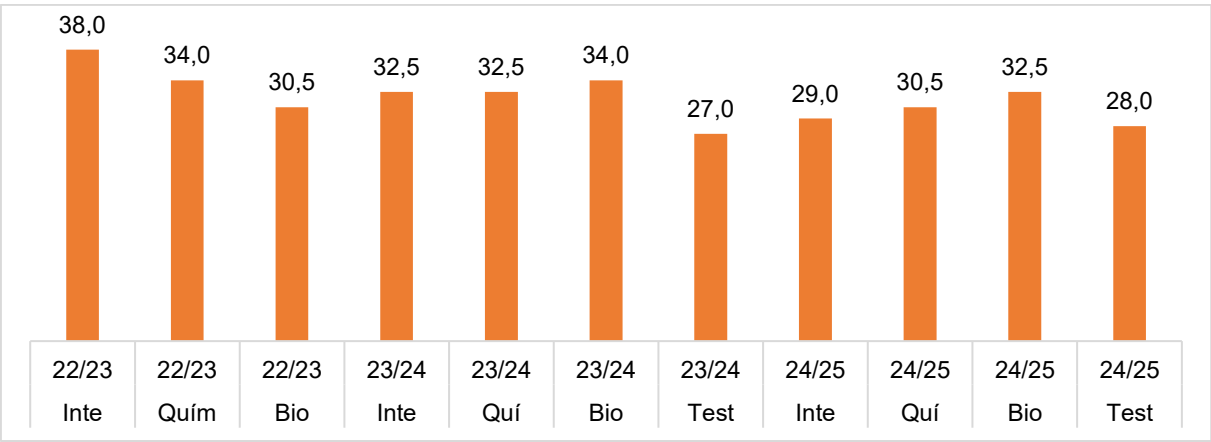
A atividade da Beta-Glicosidase (BETA), um indicador da ciclagem de carbono, variou entre os manejos e safras (Gráfico 4). Inicialmente, o Manejo Integrado apresentou a maior BETA (112.0), mas na safra 2023/24 o Biológico assumiu a liderança (114.5), enquanto a Testemunha manteve os menores valores (79.5).

Notavelmente, na safra final (2024/25), houve um aumento generalizado da BETA em todos os manejos, com o Químico (148.0) e o Biológico (147.5) atingindo os picos de atividade, superando o Integrado (131.5) e a Testemunha (115.5), o que sugere uma influência do tempo de aplicação do manejo e/ou condições ambientais mais favoráveis ou efeito acumulativo das práticas ao longo do tempo.

A β -glicosidase, assim como a arilsulfatase, é uma enzima fundamental nos solos, associadas ao ciclo de enxofre e carbono no solo. É produzida e excretada por microrganismos como bactérias e fungos. Sua atividade é altamente dependente das condições ambientais do solo e pode ser significativamente influenciada pela qualidade e disponibilidade do substrato de matéria orgânica (EMBRAPA, 2020).

O Gráfico 5 apresenta a evolução dos teores de Matéria Orgânica do Solo (MOS, em percentual) nos diferentes manejos (Integrado, Químico, Biológico e Testemunha) ao longo de três safras de soja (2022/23, 2023/24 e 2024/25). A MOS é um atributo fundamental para a qualidade e funcionalidade do solo.

Gráfico 5. Análise da Matéria Orgânica do Solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



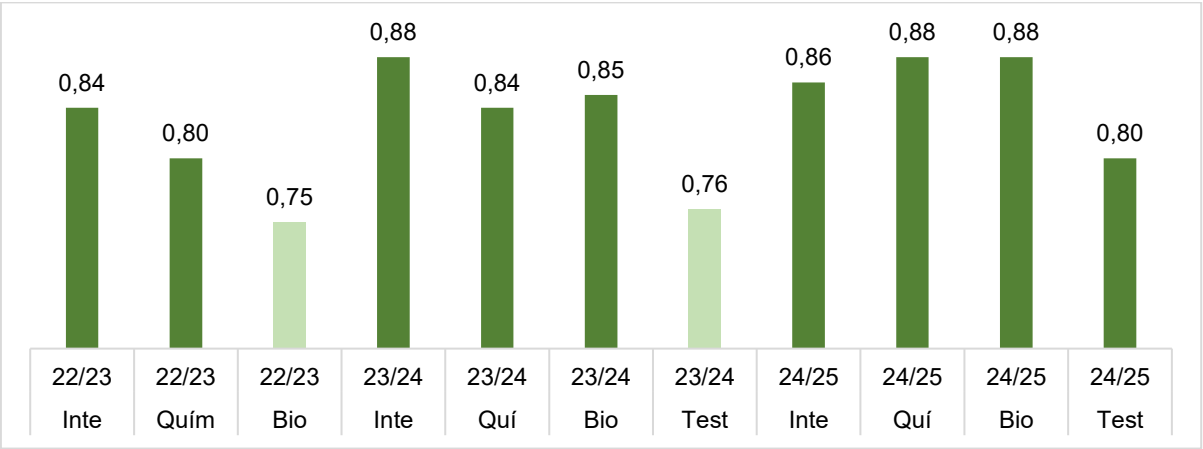
Fonte: Resultados da pesquisa.
Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61 a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

A Matéria Orgânica do Solo (MOS), um indicador abrangente da saúde do solo, apresentou tendências variadas entre os manejos ao longo das safras (Gráfico 5). Inicialmente, o Manejo Integrado registrou o maior teor de MOS (38.0 g.kg⁻¹), mas demonstrou uma queda consistente ao longo das três safras (para 29.0 g.kg⁻¹), o que é considerado um ponto crítico e inesperado para um sistema conservacionista. Em contraste, o Manejo Biológico mostrou maior estabilidade, com um leve aumento inicial (de 30.5 para 34.0 g.kg⁻¹) e finalizando a última safra com um dos maiores

valores (32.5 g.kg⁻¹), enquanto o Químico teve uma leve queda e posterior estabilização (de 34.0 para 30.5 g.kg⁻¹). A Testemunha, embora com os menores teores (27.0 a 28.0 g.kg⁻¹), apresentou uma leve recuperação na última safra.

O Gráfico 6 ilustra o Índice de Qualidade do Solo (IQS Ferbio) para os diferentes manejos e safras. O IQS Ferbio é uma métrica sintética da qualidade do solo, que integra diversos parâmetros químicos e biológicos para fornecer uma avaliação abrangente.

Gráfico 6. Análise do Índice de qualidade do solo obtido pelo modelo "Fertbio", das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.
Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

Observa-se que o Manejo Integrado inicia como o melhor resultado, sobe na segunda safra (0.84 para 0.88), e tem uma leve queda na terceira (0.88 para 0.86). O Manejo Químico teve um aumento contínuo (0.80, 0.84 para 0.88), alcançando o topo na última safra. O Manejo Biológico, teve aumento contínuo (0.75, 0.85 para 0.88), também alcançando o topo na última safra. E, a Testemunha, aumenta de 0.76 para 0.80 da segunda para a terceira safra, mostrando uma melhoria geral no sistema, mesmo sem manejo específico.

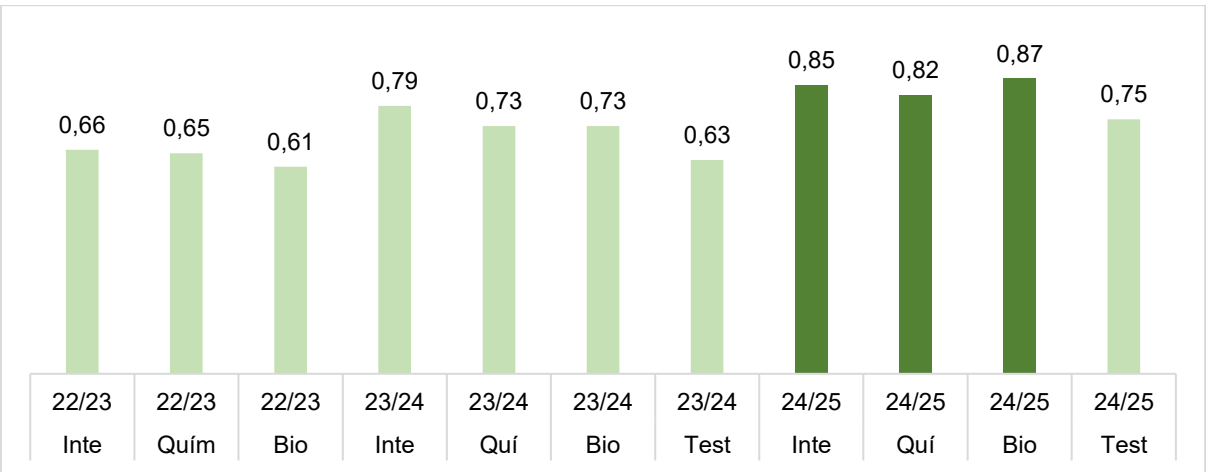
Na safra de 2022/23, o manejo Integrado apresentou o IQS Ferbio mais elevado (0.84), superando o Químico (0.80) e o Biológico (0.75). Para a safra 2023/24, todos os manejos demonstraram uma melhoria nos seus respectivos IQS Ferbio. O Integrado manteve a liderança com 0.88, seguido de perto pelo Biológico (0.85) e Químico (0.84). O manejo Testemunha, com 0.76, registrou o menor índice.

Na safra final (2024/25), observou-se que os manejos Químico (0.88) e Biológico (0.88) alcançaram os maiores valores de IQS Ferbio, empatando e

superando o Integrado (0.86), que teve uma leve redução. O Testemunha também apresentou um aumento, atingindo 0.80.

O Gráfico 7 apresenta a evolução do Índice de Qualidade Biológica do Solo (IQS Biológico) para os diferentes manejos e safras. Este índice sintetiza parâmetros biológicos, fornecendo uma avaliação da saúde e funcionalidade da comunidade microbiana do solo, crucial para a ciclagem de nutrientes e a estrutura do solo.

Gráfico 7. Análise do Índice de qualidade biológica do solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

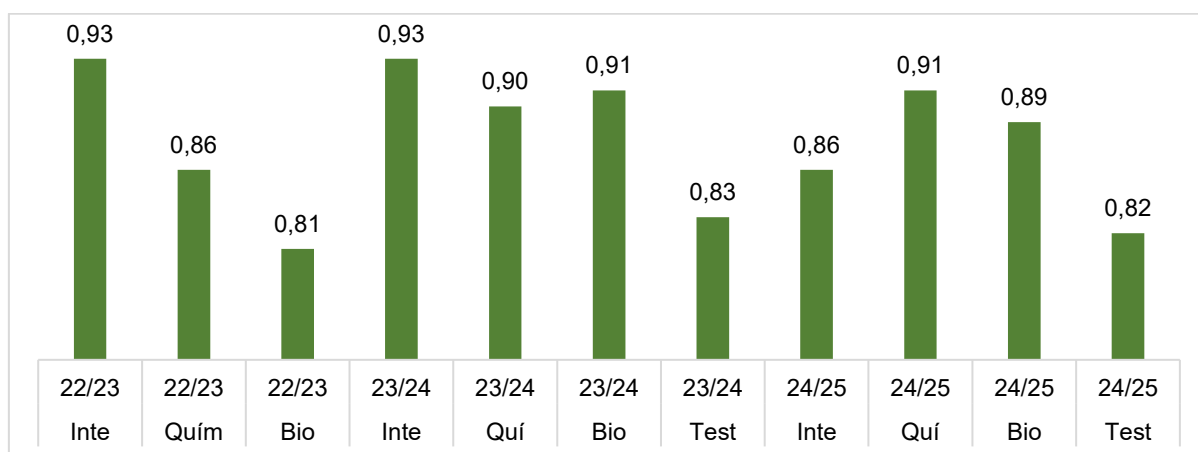
Na safra 2022/23, o IQS Biológico variou de 0.61 (Biológico) a 0.66 (Integrado), com o Manejo Integrado apresentando o valor mais elevado, embora as diferenças iniciais possam não ter sido estatisticamente significativas. Na safra 2023/24, todos os manejos demonstraram um incremento no IQS Biológico. O Integrado alcançou 0.79, mantendo-se à frente dos manejos Químico e Biológico (ambos com 0.73). O manejo Testemunha registrou 0.63.

Para a safra final (2024/25), houve uma notável melhoria generalizada no IQS Biológico em todos os sistemas. O manejo Biológico atingiu o maior valor (0.87), superando o Integrado (0.85) e o Químico (0.82). A Testemunha também exibiu um aumento expressivo, chegando a 0.75.

A análise das tendências temporais revela um padrão consistente de aumento do IQS Biológico em todos os manejos ao longo das três safras. O manejo Biológico demonstrou o maior potencial de melhoria ao longo do tempo, culminando no melhor desempenho na última safra.

O Gráfico 8 apresenta o Índice de Qualidade Química do Solo (IQS Químico) para os diferentes manejos e safras avaliadas. Este índice sintetiza parâmetros de fertilidade e disponibilidade de nutrientes, refletindo a capacidade do solo em fornecer elementos essenciais para o crescimento das plantas.

Gráfico 8. Análise do Índice de qualidade química do solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

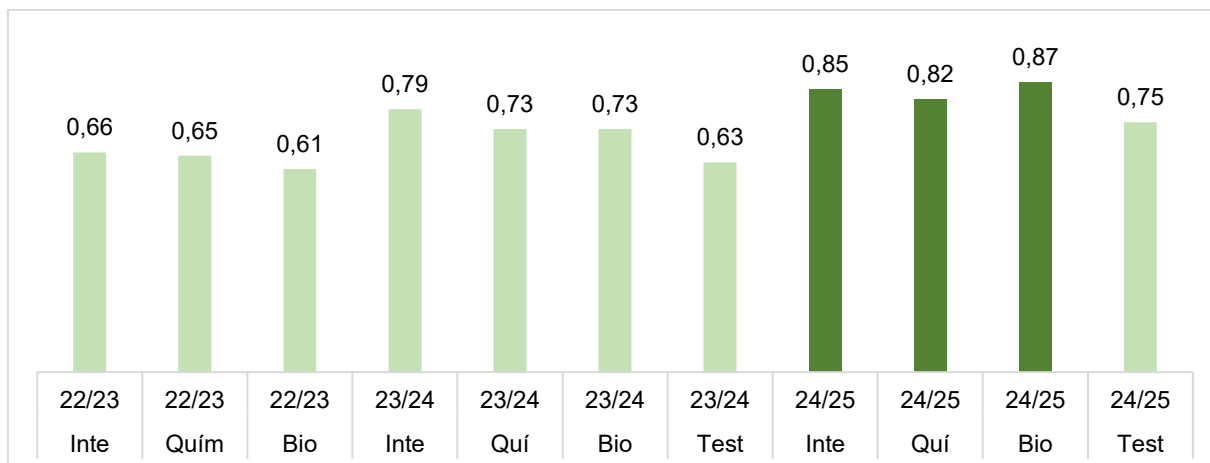
Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

Na safra de 2022/23, o manejo Integrado registrou o maior IQS Químico (0.93), indicando uma excelente qualidade química inicial. O manejo Químico (0.86) e o Biológico (0.81) apresentaram valores inferiores, mas ainda em patamares considerados bons. Na safra 2023/24, tanto o manejo Químico (0.90) quanto o Biológico (0.91) demonstraram melhoria expressiva em seu IQS Químico, aproximando-se do valor do Integrado (0.93), que se manteve estável. O manejo Testemunha iniciou com 0.83, o menor valor desta safra.

Na safra final (2024/25), o manejo Químico alcançou o maior IQS Químico (0.91), empatando com o valor máximo do Biológico na safra anterior. O Biológico manteve um alto patamar (0.89), enquanto o Integrado (0.86) apresentou uma queda notável em relação às safras anteriores. A Testemunha (0.82) apresentou uma leve redução.

O Gráfico 9 ilustra a Análise da Qualidade da Função de Ciclagem de Nutrientes do Solo, para os diferentes manejos e safras avaliadas. Este indicador reflete a capacidade do solo em converter, mobilizar e reter nutrientes, sendo um processo vital para a fertilidade e a produtividade da cultura.

Gráfico 9. Análise da Qualidade da função de ciclagem de nutrientes do solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61 a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

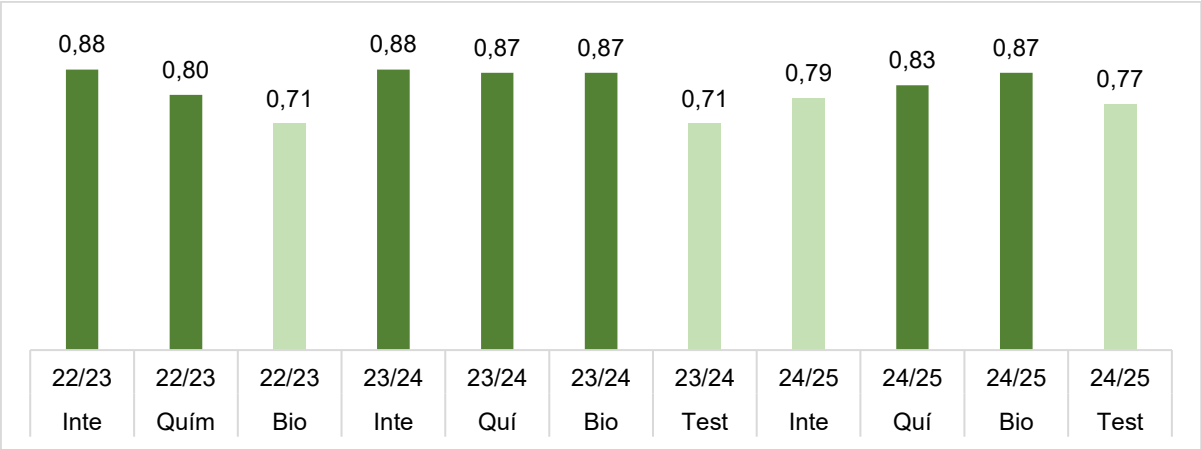
Na safra de 2022/23, o manejo Integrado apresentou o maior índice de Ciclagem de Nutrientes (0.66), seguido de perto pelo Químico (0.65) e Biológico (0.61). Para a safra 2023/24, observou-se um incremento geral na função de Ciclagem de Nutrientes em todos os manejos. O Integrado manteve a liderança com 0.79, enquanto os manejos Químico e Biológico atingiram 0.73. O manejo Testemunha, introduzido nesta safra, registrou 0.63.

Na safra 2024/25, houve uma melhora substancial na Ciclagem de Nutrientes em todos os sistemas. O manejo Biológico alcançou o maior índice (0.87), superando o Integrado (0.85) e o Químico (0.82). A Testemunha também demonstrou um aumento expressivo, atingindo 0.75.

A trajetória da Ciclagem de Nutrientes ao longo das safras demonstra uma tendência positiva de melhoria em todos os manejos, indicando uma evolução na funcionalidade do solo. O manejo Biológico destacou-se pela sua capacidade de promover o maior índice de ciclagem na safra final. A melhoria observada na Testemunha, embora em menor grau, sugere que fatores climáticos favoráveis ou a resiliência intrínseca do solo podem ter contribuído para a otimização da ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, mesmo na ausência de intervenções diretas.

No Gráfico 10 observa-se a Qualidade da Função de Armazenamento de Nutrientes do Solo para os diferentes manejos e safras. Esta função reflete a capacidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes para as plantas, sendo crucial para a eficiência do uso de fertilizantes e a resiliência do sistema produtivo.

Gráfico 10. Análise da Qualidade da função de armazenamento de nutrientes do solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.
Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61 a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

Na safra de 2022/23, o manejo Integrado apresentou a maior capacidade de armazenamento de nutrientes (0.88), seguido pelo Químico (0.80) e Biológico (0.71). Para a safra 2023/24, tanto o manejo Químico (0.87) quanto o Biológico (0.87) demonstraram uma melhoria significativa na função de armazenamento, atingindo níveis próximos ou iguais ao Integrado (0.88), que se manteve estável. O manejo Testemunha iniciou com 0.71, o menor valor desta safra.

Na terceira safra (2024/25), observou-se uma mudança nas tendências. O manejo Integrado apresentou uma redução considerável em sua capacidade de armazenamento (0.79). Em contraste, o manejo Biológico manteve seu alto patamar (0.87), tornando-se o de maior armazenamento. O Químico (0.83) também diminuiu, e a Testemunha (0.77) mostrou um leve aumento.

Observamos no Gráfico 11, a Qualidade da Função de Suprimento de Nutrientes do Solo para os diferentes manejos e safras avaliadas. Esta função é um indicador direto da capacidade do solo em fornecer ativamente os nutrientes necessários para o crescimento da cultura, refletindo a dinâmica da liberação de nutrientes e a fertilidade disponível.

Gráfico 11. Análise da Qualidade da função de suprimento de nutrientes do solo, das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Legenda: 0,81 a 1 (muito alto); 0,61, a 0,80 (alto); 0,41 a 0,60 (médio); 0,21 a 0,40 (baixo) e 0 a 0,20 (muito baixo). Média da coleta de solo no início do ciclo e após a colheita.

Na safra de 2022/23, o manejo Integrado apresentou o mais elevado índice de suprimento de nutrientes (0.97), indicando uma excelente disponibilidade inicial. Os manejos Químico (0.92) e Biológico (0.91) também exibiram altos valores. Na safra 2023/24, todos os manejos demonstraram uma manutenção ou leve incremento em sua capacidade de suprimento de nutrientes, com o Integrado atingindo 0.98 e os manejos Químico e Biológico alcançando 0.95. Surpreendentemente, o manejo Testemunha registrou um alto valor de 0.94 nesta safra.

Na safra 2024/25, o manejo Químico se destacou, atingindo o pico de 0.99 na função de suprimento de nutrientes. Em contraste, o Integrado (0.94) e o Biológico (0.91) apresentaram uma redução em relação à safra anterior. A Testemunha (0.88) também teve uma queda, mas permaneceu em um nível considerável.

A avaliação das enzimas, matéria orgânica e índices de qualidade do solo (IQS) ao longo das três safras demonstrou que, embora todos os manejos tenham exibido uma tendência geral de melhoria nas funções biológicas do solo, o manejo Biológico *On Farm* se destacou como o mais promissor em termos de sustentabilidade de longo prazo. Nas análises de Arilsulfatase, Beta-Glicosidase e, especialmente, na função de Ciclagem de Nutrientes, o manejo biológico alcançou consistentemente os maiores índices ao final do experimento. Em contraste, o manejo Integrado manteve um desempenho químico e biológico elevado nas safras iniciais, mas apresentou uma notável redução em sua capacidade de armazenamento de nutrientes na última safra.

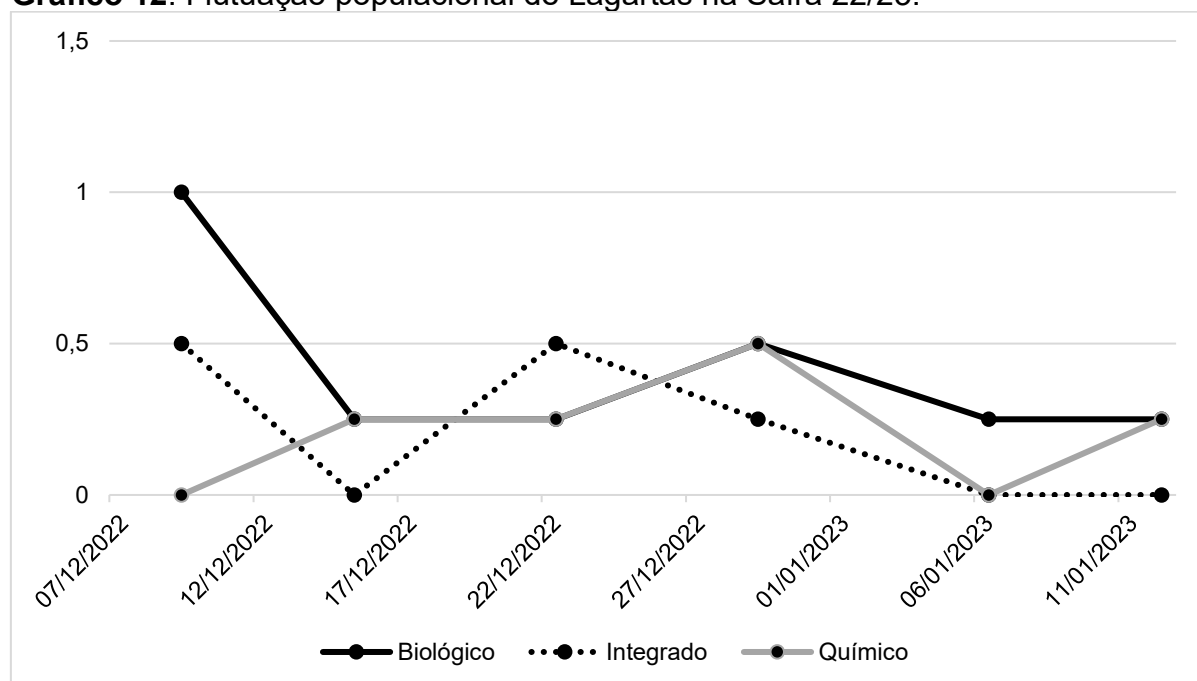
Já o manejo Convencional mostrou um bom desempenho em termos de suprimento de nutrientes, mas com menor capacidade de armazenamento e ciclagem, o que sugere uma dependência contínua de insumos externos para manter a

fertilidade. Esses resultados, embora com variações, indicam que a adoção de manejos que promovem a saúde biológica do solo, como o uso de bioinsumos *On Farm*, pode ser uma estratégia para a sustentabilidade da produção agrícola, superando as limitações do manejo convencional a longo prazo.

4.3. Avaliação de pragas e doenças

Durante o ciclo da Soja na Safra 22/23, o índice de pragas se manteve abaixo do nível de controle recomendado pela Embrapa (Gráficos 12 e 13). Foi realizada a soma das principais lagartas e percevejos incidentes na região.

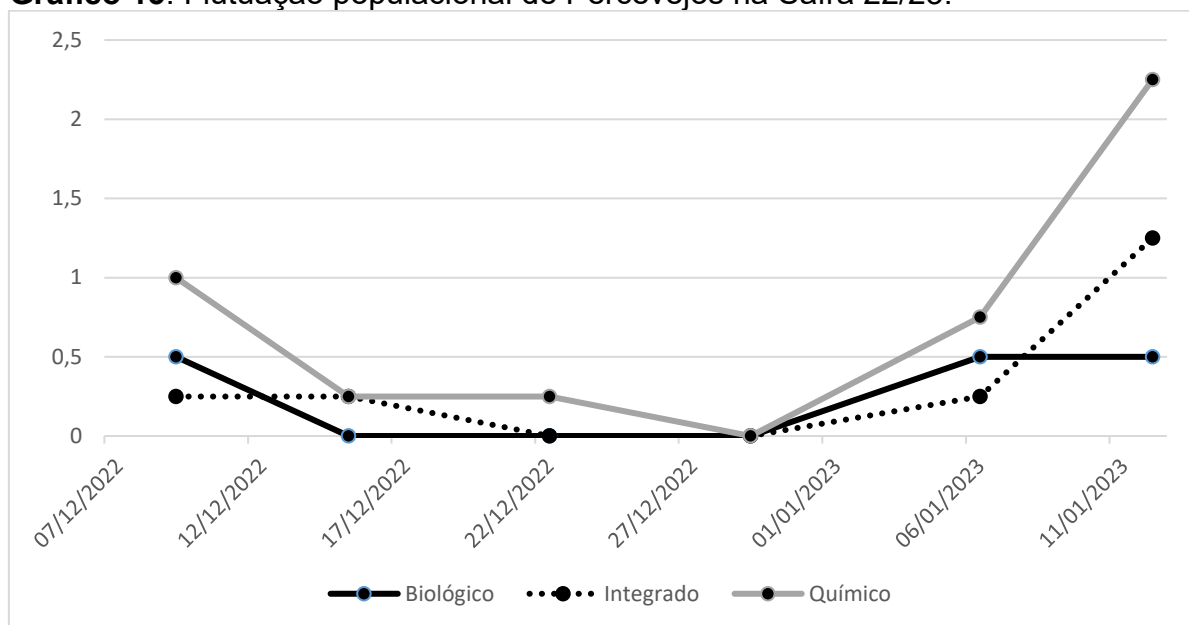
Gráfico 12. Flutuação populacional de Lagartas na Safra 22/23.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Durante a Safra 2022/2023, a baixa incidência natural de lagartas resultou em níveis populacionais similares entre todos os manejos avaliados. Esse cenário demonstrou que, naquele ciclo, nenhum dos tratamentos necessitou de intervenção de controle, uma vez que a praga se manteve abaixo do nível de dano econômico.

Gráfico 13. Flutuação populacional de Percevejos na Safra 22/23.

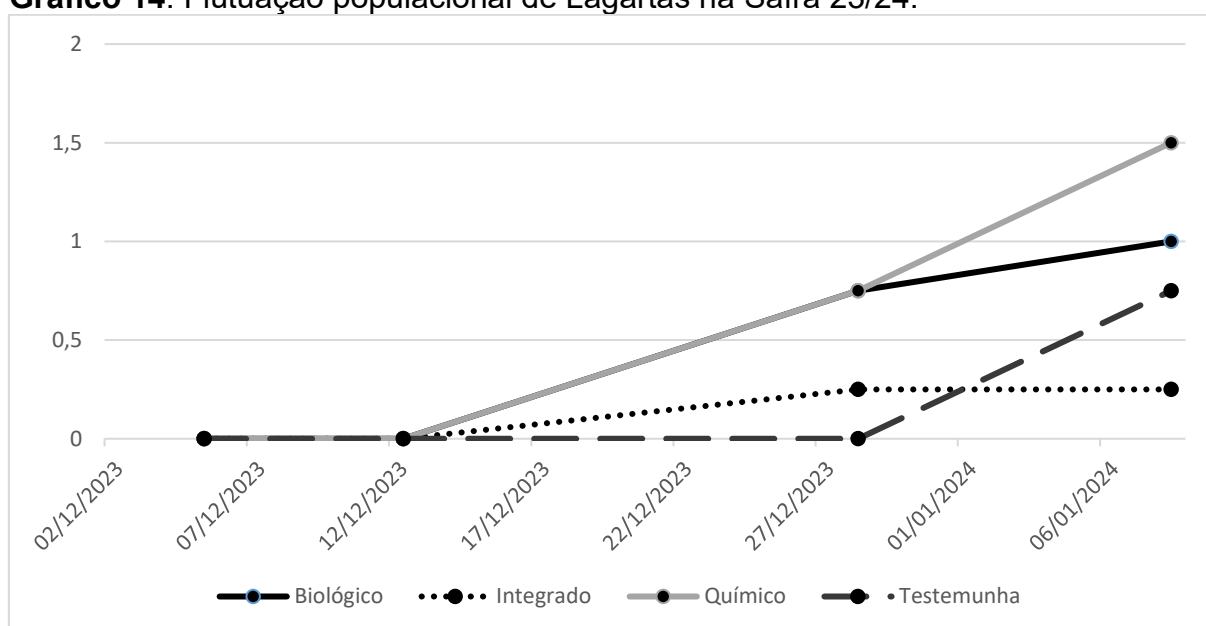


Fonte: Resultados da pesquisa.

Apenas ao final do ciclo, nos três manejos, as pragas atingiram o nível de controle sugerido pela Embrapa (2020) sendo 1 percevejo por metro, sendo detectados 1,25 percevejos por metro no manejo integrado e 2,25 no manejo químico.

Na Safra 23/24, também não houve incidência significativa de lagartas, ficando abaixo do nível de controle recomendado (Gráfico 14). Porém, diferente da safra anterior, na safra 23/24 houve grande incidência de percevejos em todo o ciclo da cultura (Gráfico 15).

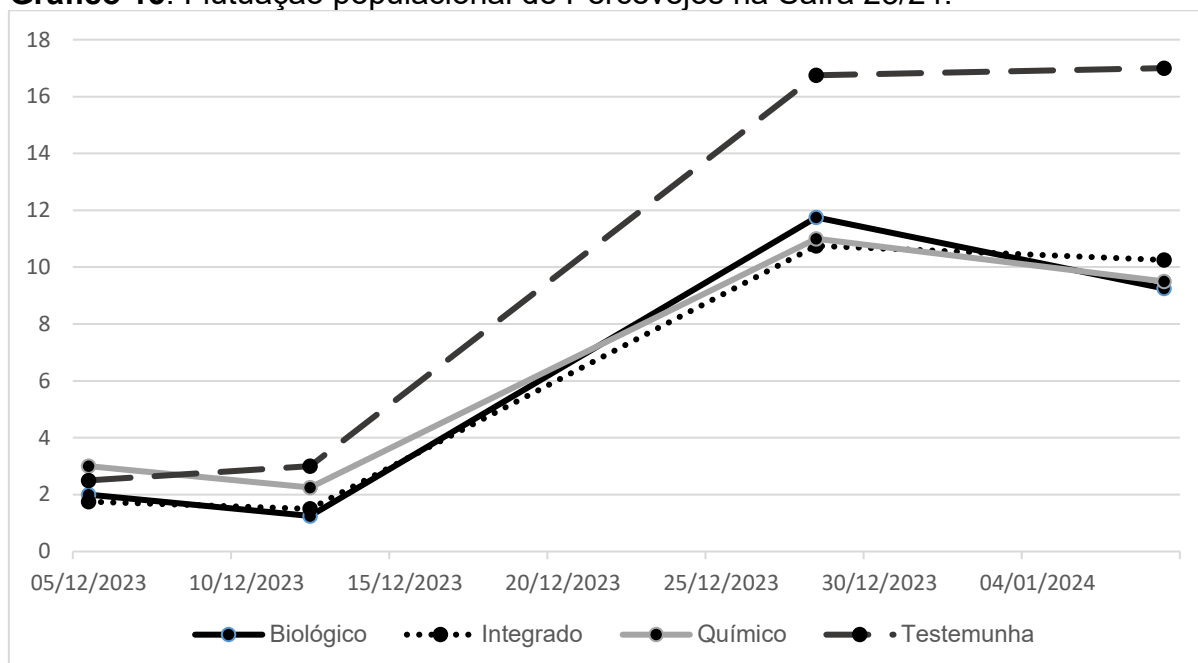
Gráfico 14. Flutuação populacional de Lagartas na Safra 23/24.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Safra 2023/2024, as lagartas também não atingiram o nível de controle recomendado pela Embrapa. Ao final do ciclo da cultura houve um pequeno aumento na quantidade de lagartas identificadas, porém sem a necessidade de intervenção.

Gráfico 15. Flutuação populacional de Percevejos na Safra 23/24.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Na primeira avaliação de percevejos, todos os manejos já haviam atingido o nível de controle, reduzindo na segunda avaliação, exceto a testemunha, se mantendo em níveis elevados até o final do ciclo da Soja.

A partir da terceira avaliação, todos os manejos tiveram grande incidência de percevejos. Apesar das aplicações de controle nos três manejos, as pragas continuaram a aumentar até a colheita.

A alta incidência de percevejos na safra 2023/2024 é justificada por conta das altas temperaturas que atingiram a região naqueles meses. Na década de 1970, o Percevejo Marrom era considerado uma praga secundária, porém, na última década passou a ser considerada uma praga-chave, um dos motivos pode ser a elevação das temperaturas (Barrufaldi, 2015). As altas temperaturas também colaboraram para o desenvolvimento de doenças de final de ciclo, que atingiram principalmente a cultivar Nexus.

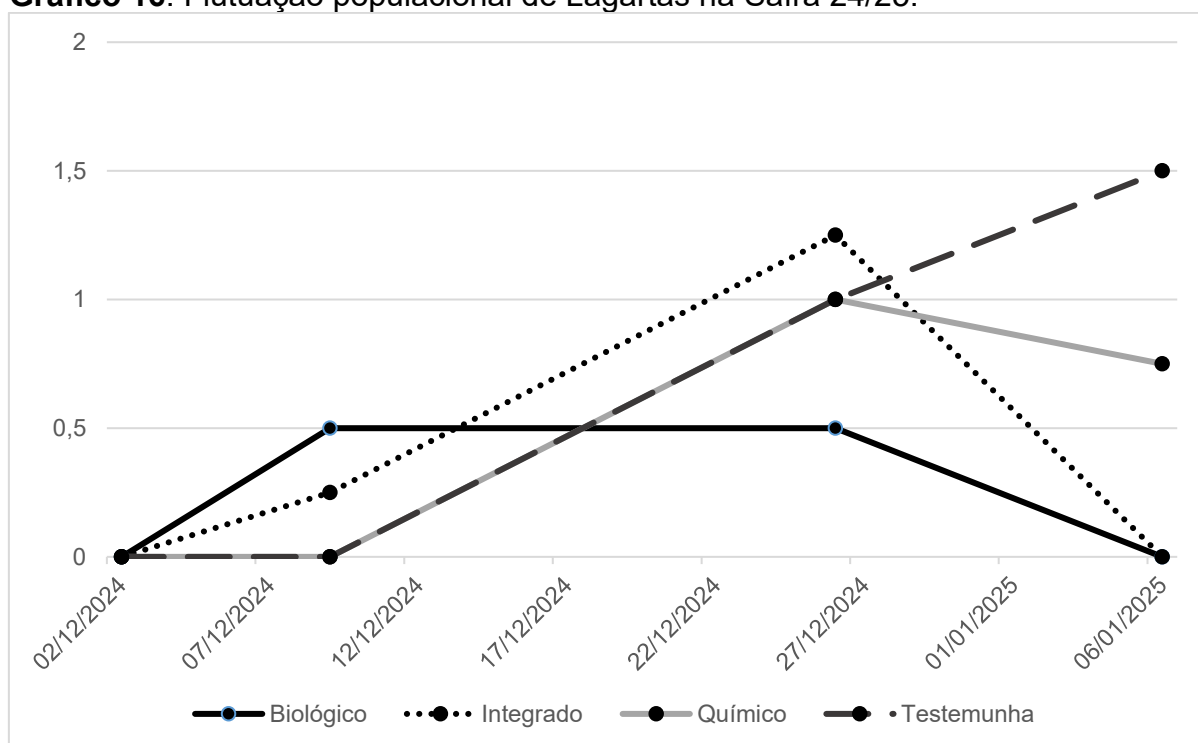
Uma das doenças identificadas no experimento, foi a *Macrophomina phaseolina*, trata-se de uma doença causada por fungo que habita o solo naturalmente. Essa doença causa lesões nas raízes e no caule da planta, posteriormente as folhas secam, diminuindo o desenvolvimento sadio da planta. Outras doenças que incidiram ao final

do ciclo foram a *Phytophthora Sojae*, causando clorose nas folhas que secam e se mantêm presas na haste, além do apodrecimento da haste. E, a Cercosporiose, que adoece a planta a partir das folhas causando o desfolhamento. As vagens ficam com manchas marrom e as sementes com mancha púrpura.

Essas doenças impactam na produtividade e qualidade dos grãos. Altas temperaturas e *déficit* hídrico favorecem o desenvolvimento destas doenças. A principal causa dessas doenças é a aquisição de sementes infectadas e não existe tratamento efetivo em plantas adultas até o momento (Almeida *et al.*, 2014).

Na Safra 2024/2025, as lagartas continuaram os baixos níveis de incidência (Gráfico 16), mantendo-se abaixo do nível de controle, conforme safras anteriores.

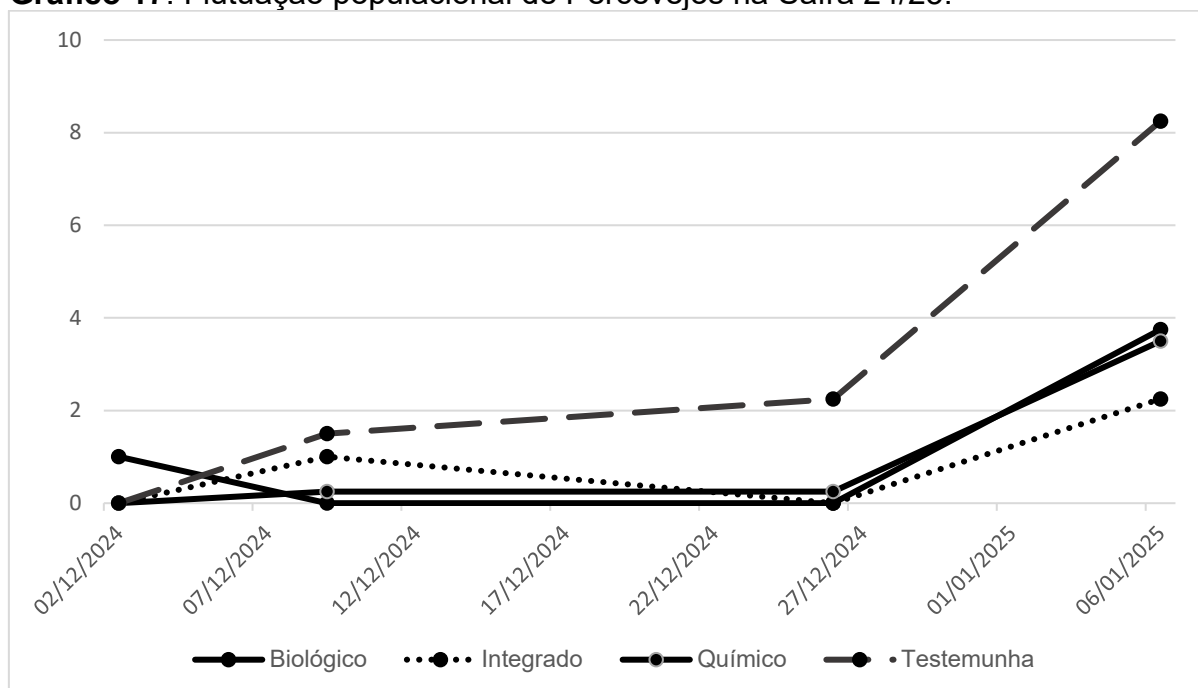
Gráfico 16. Flutuação populacional de Lagartas na Safra 24/25.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Com relação a infestação de percevejos, a partir da segunda avaliação na Safra 2024/2025, os percevejos já haviam atingido o nível de controle recomendado pela Embrapa (Gráfico 17).

Gráfico 17. Flutuação populacional de Percevejos na Safra 24/25.



Fonte: Resultados da pesquisa.

O manejo biológico, integrado e químico, se mantiveram em níveis populacionais de até 1,5 percevejos até a terceira avaliação. Porém, ao final do ciclo da soja, os percevejos atingiram 3,75 no manejo biológico, 2,25 no manejo integrado, 3,5 no manejo químico e 8,25 na testemunha.

Estes resultados demonstram que em uma safra com índices de chuvas regulares e temperaturas com poucos dias acima dos 35°C, é possível reduzir significativamente a necessidade de aplicações de agrotóxicos, impactando diretamente os custos com insumos. A Safra 2024/2025 serve como um estudo de caso notável, onde as condições meteorológicas mais favoráveis com chuvas regulares e menor ocorrência de picos de temperatura resultaram em uma pressão de pragas e doenças menos intensa.

Nesse cenário, os manejos biológico e integrado se tornam ainda mais eficientes, uma vez que a resiliência natural do ecossistema é fortalecida. O ambiente menos estressante permite que os agentes de controle biológico e os mecanismos de defesa naturais das plantas atuem com maior eficácia, diminuindo a necessidade de intervenções químicas corretivas. Isso contrasta com o cenário da Safra 2023/2024, na qual o estresse hídrico e térmico contribuiu para um aumento drástico na população de pragas, como os percevejos, exigindo um maior número de aplicações e elevando os custos de produção em todos os manejos.

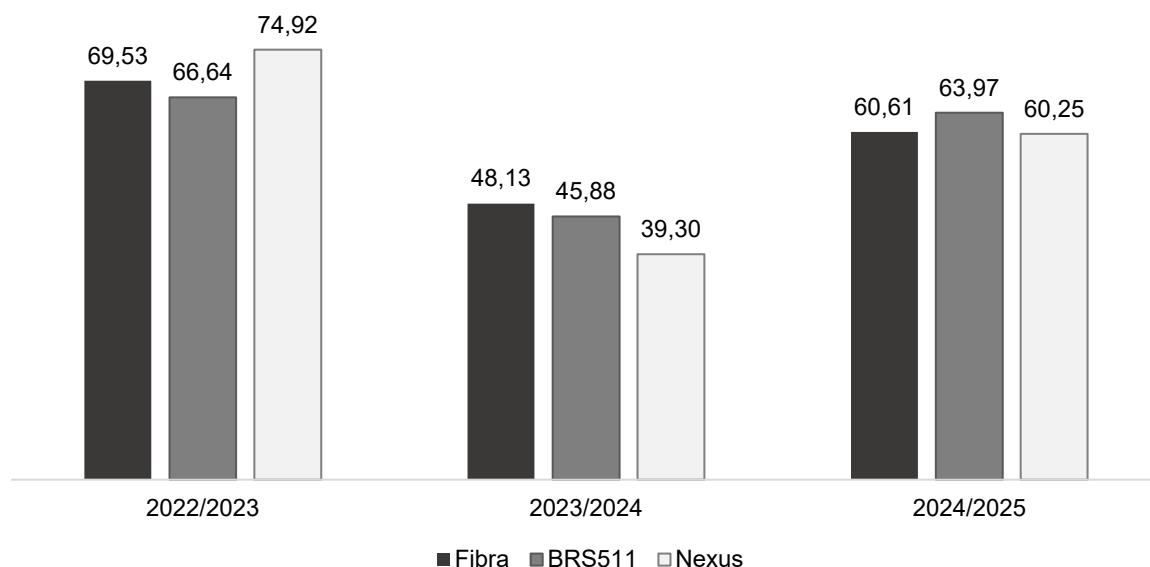
Portanto, a análise das safras revela que as condições climáticas não apenas influenciam a produtividade, mas também são um fator determinante na viabilidade econômica de manejos alternativos. A adoção de práticas como o Manejo Integrado, que se adapta às condições do ano e utiliza o monitoramento para tomar decisões, não só oferece um caminho para uma agricultura mais sustentável, mas também confere ao produtor maior flexibilidade e economia em anos com clima favorável, reduzindo a dependência de insumos externos de alto custo.

4.4. Avaliação da produtividade

Para avaliar a produtividade, após a tabulação dos resultados da produtividade no programa Microsoft Excel®, os dados foram submetidos ao teste de Bartlett a ($p \leq 0,05$) para homogeneidade, seguido do teste Shapiro-Wilk a ($p \leq 0,05$) para normalidade e Tukey a ($p \leq 0,05$) para análise das médias, utilizando o *Software R*®.

Nos Gráficos 18 e 19, são apresentadas as médias de produtividade por cultivar das três safras testadas. Além da média de produtividade por Manejo.

Gráfico 18. Produtividade final por cultivar, Safras 22/23, 23/24 e 24/25.



Fonte: Resultados da pesquisa.

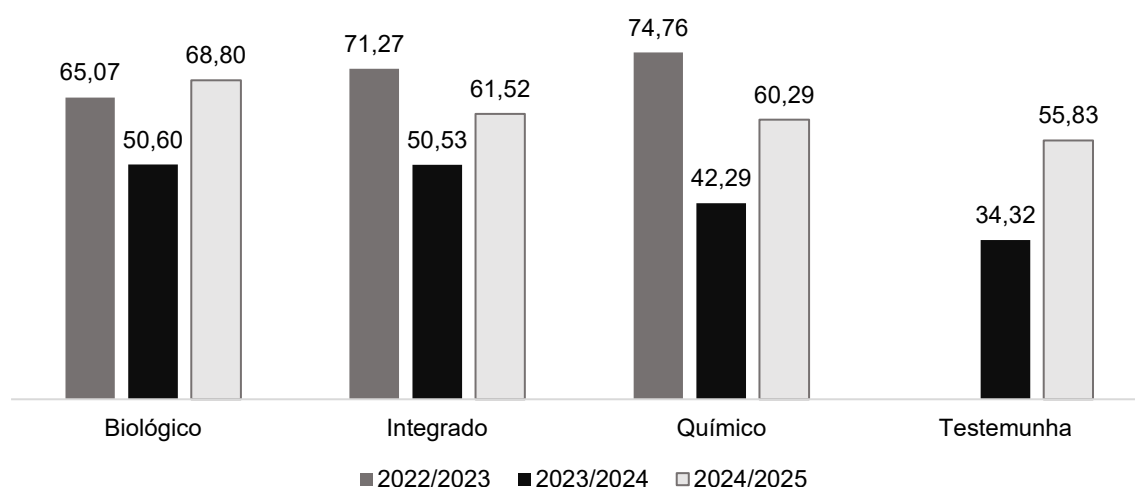
Na Safra 22/23, a análise apresentou um modelo fatorial para as cultivares (FATOR1) e manejos (FATOR2), mas com uma diferença notável: o nível F4 (Testemunha) não estava presente nos dados, com apenas os manejos F1 (Biológico), F2 (Integrado) e F3 (Químico) sendo analisados.

Na Safra 22/23, os testes de Bartlett para homogeneidade das variâncias ($p = 0.332$ para (Cultivar) e $p = 0.9747$ para (Manejo) e o teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos resíduos ($p = 0.2548$) indicaram que os dados atendem às pressuposições para a ANOVA.

A análise de variância mostra que nem o Fator 1 (Cultivar), nem o Fator 2 (Manejo), nem a interação entre eles ($F1 \times F2$) foram estatisticamente significativos ($p > 0.05$). Sendo: FATOR1: $Pr > F_c = 0.16607$. FATOR2: $Pr > F_c = 0.09168$. $F1 \times F2$ (Interação): $Pr > F_c = 0.53261$. Para esta safra específica, não houve diferença estatística na produtividade entre as cultivares ou entre as práticas de manejo testadas. Todas as cultivares e todos os manejos (Biológico, Integrado e Químico) tiveram um desempenho considerado estatisticamente igual.

Na Safra 23/24, o teste de Bartlett indicou que as variâncias eram homogêneas (p -valores de 0.8778 e 0.887) e o teste de Shapiro-Wilk para normalidade dos dados mostrou um p -valor de 0.067. O teste de Shapiro-Wilk nos resíduos da ANOVA $p = 0.4551348$, indicando que os resíduos podem ser considerados normais. Resultados ANOVA: Bloco: Altamente significativo ($Pr > F_c = 0.00000$), indicando que as variações entre os blocos dentro do ano tiveram um impacto na produtividade. FATOR1: Foi estatisticamente significativo ($Pr > F_c = 0.00625$). FATOR2: Foi altamente significativo ($Pr > F_c = 0.00001$). E a Interação $F1 \times F2$: Não foi significativa ($Pr > F_c = 0.75195$), o que sugere que o efeito do manejo foi consistente em todas as cultivares.

Gráfico 19. Produtividade final por manejo, Safras 22/23, 23/24 e 24/25.



Fonte: Resultados da pesquisa.

O teste de Tukey formou dois grupos distintos. As cultivares T1 (Fibra) e T2 (NEXUS) formaram um grupo "a" e foram significativamente mais produtivas que a

cultivar T3 (BRS 511), que formou o grupo "b". Manejos (FATOR2): O teste de Tukey formou três grupos. O manejo F3 (Químico) e F2 (Integrado) formaram o grupo "a" e foram os mais produtivos. O manejo F1 (Biológico) ficou em um grupo intermediário ("ab"). O manejo F4 (Testemunha) foi o menos produtivo, formando o grupo "b" (Tabela 4).

Tabela 4. Diferenças estatísticas na Produtividade final por manejo, Safras 22/23, 23/24 e 24/25.

Legenda	Variável	Safra 22/23	Safra 23/24	Safra 24/25
Fibra	T1	a	a	a
BRS511	T2	a	a	a
Nexus	T3	a	b	a
Biológico	F1	a	ab	b
Integrado	F2	a	a	a
Químico	F3	a	a	b
Testemunha	F4	-	b	b

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Safra 23/24, houve diferenças significativas tanto entre as cultivares quanto entre os manejos. As cultivares Fibra e NEXUS tiveram o melhor desempenho, e os manejos Químico e Integrado foram os mais eficientes. O manejo Testemunha foi o menos produtivo.

Na Safra 24/25, os testes de Bartlett e Shapiro-Wilk indicaram que os dados atendem às pressuposições para a ANOVA, com p-valores de 0.2063 e 0.3834 para o teste de Bartlett e 0.1402 para o teste de Shapiro-Wilk. Resultados da ANOVA: FATOR1 (Cultivar): Não foi estatisticamente significativo ($Pr > F_c = 0.18154$), indicando que não houve diferença de produtividade entre as cultivares neste ano. FATOR2 (Manejo): Foi altamente significativo ($Pr > F_c = 0.00014$). Interação F1*F2: Não foi significativa ($Pr > F_c = 0.73268$), o que sugere que a performance dos manejos foi consistente em todas as cultivares.

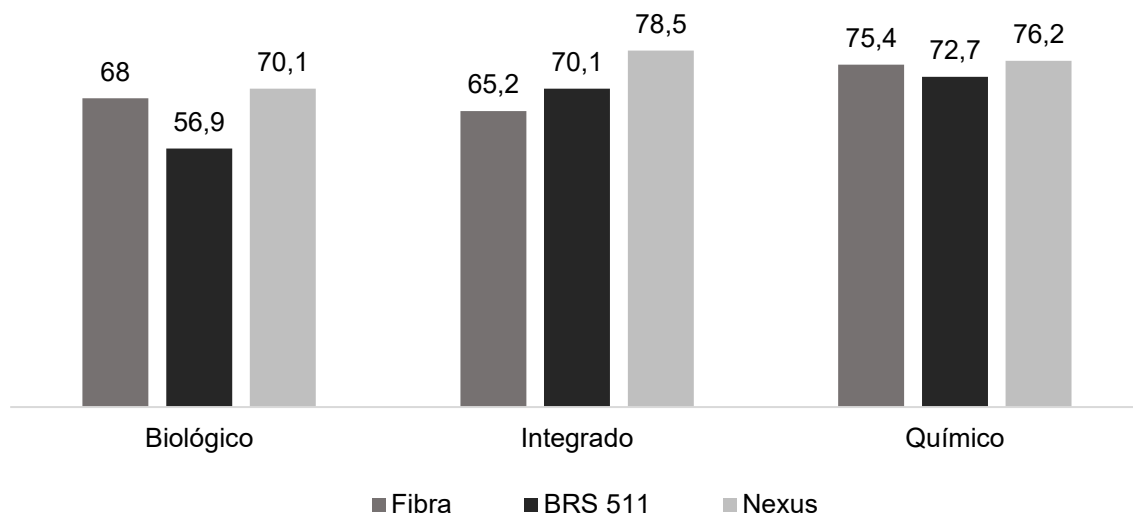
Teste de Tukey: Cultivares (FATOR1): Como o fator não foi significativo, todas as cultivares foram consideradas estatisticamente iguais. Manejos (FATOR2): O teste de Tukey formou dois grupos. O manejo F2 (Integrado) foi o mais produtivo e formou o grupo "a". Os demais manejos, F3 (Químico), F1 (Biológico) e F4 (Testemunha), foram agrupados no grupo "b" e não apresentaram diferenças significativas entre si. Nesta Safra, a produtividade não variou significativamente entre as cultivares. No

entanto, o manejo Integrado se destacou como o mais eficiente, superando significativamente todos os outros manejos.

A análise estatística em comparação das safras 23/24 e 24/25, demonstra que a produtividade da safra 24/25 foi significativamente maior que na safra 23/24, sugerindo condições ambientais mais favoráveis. As cultivares Fibra e NEXUS são as mais indicadas, com desempenho superior à BRS 511. O manejo Integrado foi o mais eficaz e consistente nestas duas safras e com ótimo desempenho na safra 22/23. Não há uma interação significativa entre as cultivares e os manejos, o que simplifica a recomendação: a melhor cultivar e o melhor manejo podem ser recomendados de forma independente.

A avaliação dos dados brutos de produtividade foi conduzida empregando o Microsoft Excel®, com o objetivo de realizar uma comparação direta entre os diferentes manejos e cultivares. É importante ressaltar que esta análise não incorporou procedimentos estatísticos inferenciais para a validação das diferenças observadas (Gráficos 18, 19 e 20).

Gráfico 18. Produtividade em sacas de Soja, cultivar e manejo, Safra 2022/2023.

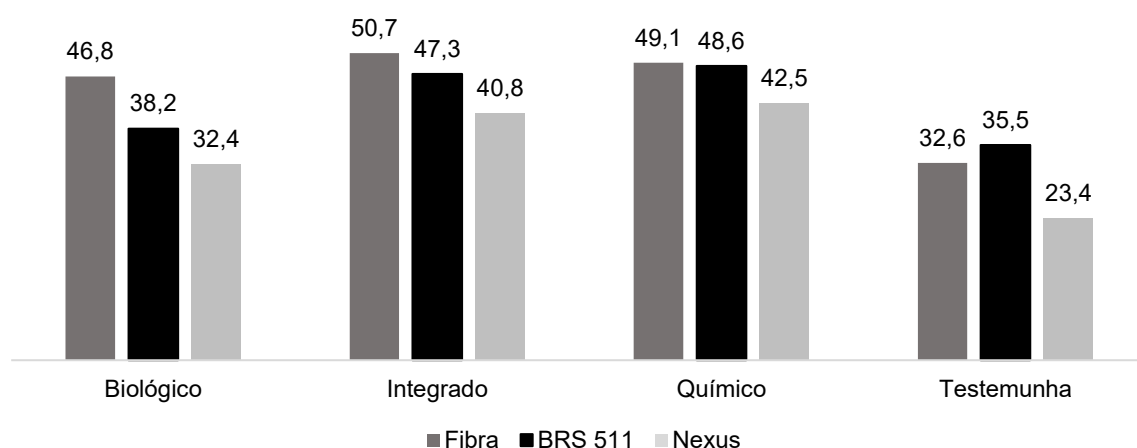


Fonte: Resultados da pesquisa de campo.

De acordo com o Gráfico 18, a cultivar Nexus, obteve a melhor produtividade nos três manejos, se destacando no Manejo Integrado. As cultivares Fibra e BRS 511, obtiveram as maiores produtividades no Manejo Químico.

Na Safra 2023/2024, a cultivar Nexus se diferenciou das demais (Gráfico 19), obtendo a menor produtividade demonstrando maior sensibilidade ao ataque de percevejos no final do ciclo.

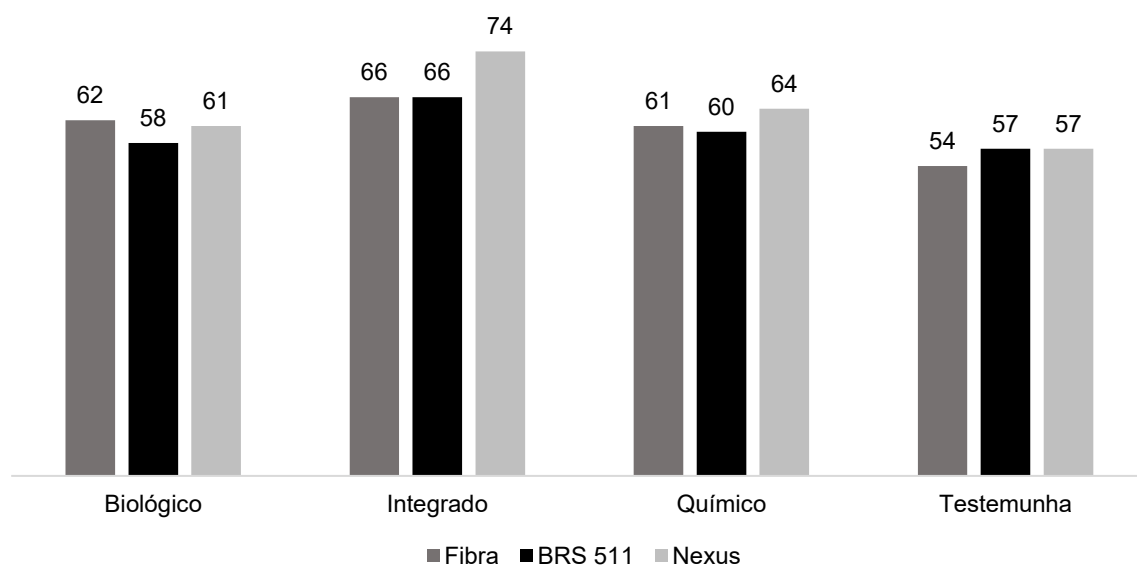
Gráfico 19. Produtividade em sacas de Soja, cultivar e manejo, Safra 2023/2024.



Fonte: Resultados da pesquisa de campo.

Conforme apresentado no Gráfico 19, a cultivar Fibra obteve a maior produtividade nos três manejos, atingindo níveis próximos de produtividade entre os manejos, com diferença de 1,6 sacas sob o manejo Químico, 3,9 sob o manejo Biológico e 18,1 sacas sob a Testemunha. A cultivar BRS 511, obteve bons resultados, principalmente no manejo Químico com diferença de 1,3 sacas sob o manejo Integrado e 10,4 sacas sob o manejo Biológico e 13,1 sacas sob a Testemunha. A cultivar Nexus apresentou os piores resultados nesta safra, com diferença de 1,7 sacas do manejo Químico para o Integrado, 10,1 sacas sob o manejo Biológico e 19,1 sacas sob a Testemunha.

Gráfico 20. Produtividade em sacas de Soja, cultivar e manejo, Safra 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa de campo.

Na Safra 2024/2025, a cultivar Nexus atingiu os melhores níveis de produtividade, liderado pelo manejo integrado atingindo 74 sacas/hectare. O manejo

integrado atingiu os melhores resultados, seguido do manejo químico e depois o manejo biológico. O manejo biológico superou em 1 saca o manejo químico na cultivar Fibra e ficou 4 sacas abaixo do manejo integrado nesta comparação. A testemunha nesta safra, manteve altos índices de produtividade, considerando que não foi realizado nenhum controle de pragas.

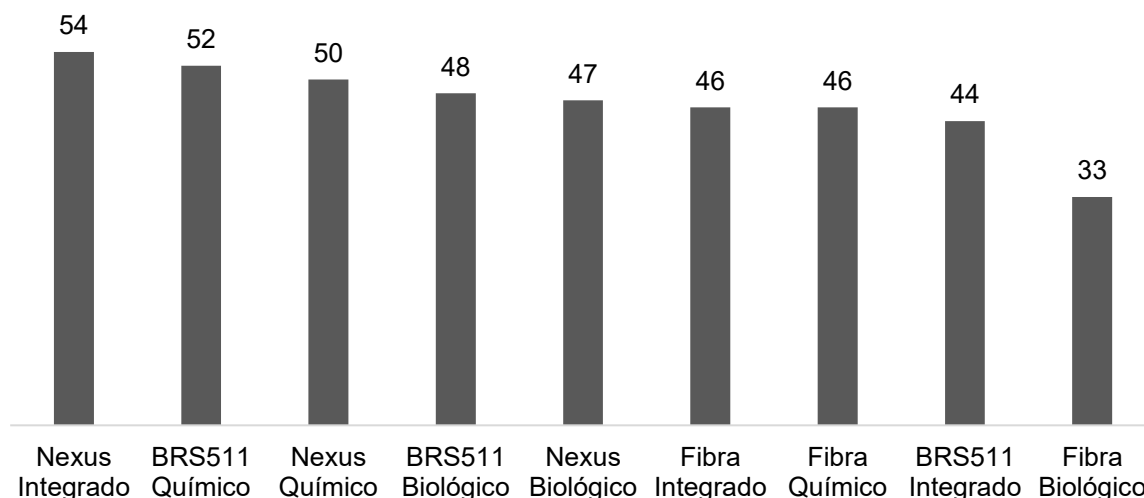
A análise dos dados de produtividade ao longo das três safras revela um cenário dinâmico e dependente das condições ambientais. Enquanto a Safra 2022/2023 demonstrou uma uniformidade de desempenho entre os manejos, as safras subsequentes evidenciaram uma clara diferenciação. Os resultados da Safra 2023/2024, marcada por condições climáticas desfavoráveis, reforçaram a sensibilidade da cultivar Nexus e a importância dos manejos que minimizam os impactos do estresse, como o Integrado e o Químico.

Já na Safra 2024/2025, em condições mais estáveis, o Manejo Integrado se consolidou como o mais eficiente, mas o Manejo Biológico demonstrou um desempenho promissor ao se aproximar dos resultados do químico. Em suma, os dados quantitativos sugerem que, embora a produtividade seja influenciada pela cultivar e pelas condições climáticas, o Manejo Integrado consistentemente se posicionou como a alternativa que combina alta produtividade com poucas oscilações de produtividade entre as safras testadas, servindo como uma estratégia robusta e adaptável para a produção de soja.

4.5. Análise econômica: manejos e cultivares

A análise econômica é essencial neste tipo de avaliação, principalmente no que se refere a tomada de decisão do produtor rural, na escolha do manejo que ofereça não apenas a maior produtividade, mas sim o melhor custo-benefício. O custo-benefício é determinado, considerando a receita após a subtração dos custos em cada manejo e cultivar. A receita líquida apresenta a melhor rentabilidade da cultura, conforme apresentado nos Gráficos 21, 22 e 23.

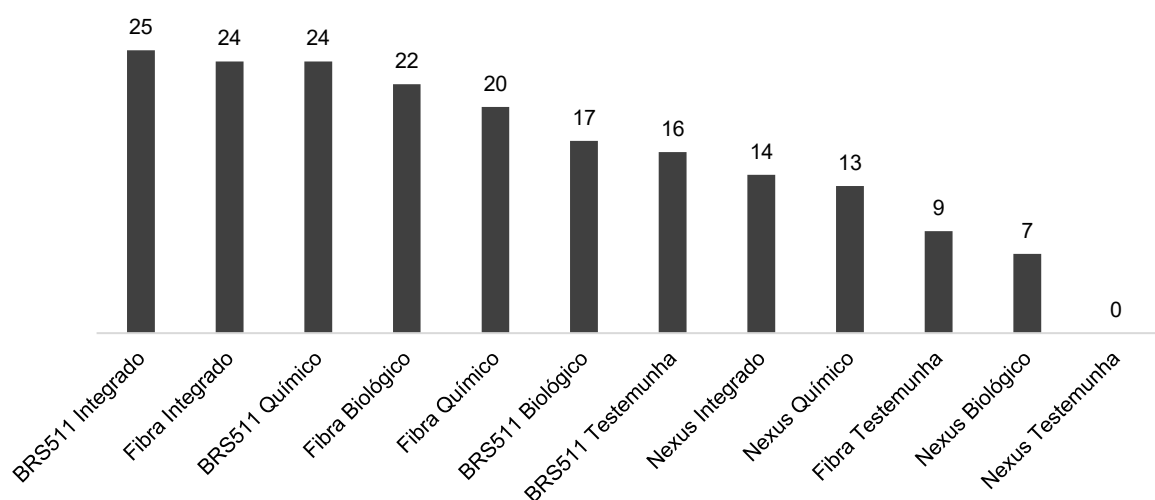
Gráfico 21. Receita líquida em sacas de soja na Safra 2022/2023.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Safra 2022/2023 os custos dos insumos e da venda da saca de Soja eram mais altos, além dos resultados de produtividade ser dentro da normalidade histórica para a região. O melhor custo-benefício foi obtido com a cultivar Nexus no Manejo Integrado com 54 sacas, seguido da Cultivar BRS511 no Manejo Químico, Nexus no Manejo Químico e BRS511 no Manejo Biológico. O valor médio da saca de Soja transgênica na safra 2022/2023 era de R\$ 151,00 e no caso da BRS511, por se tratar de uma cultivar convencional, pode-se receber até 10% de acréscimo na venda, chegando a R\$ 166,10 a saca.

Gráfico 22. Receita líquida em sacas de soja na Safra 2023/2024.

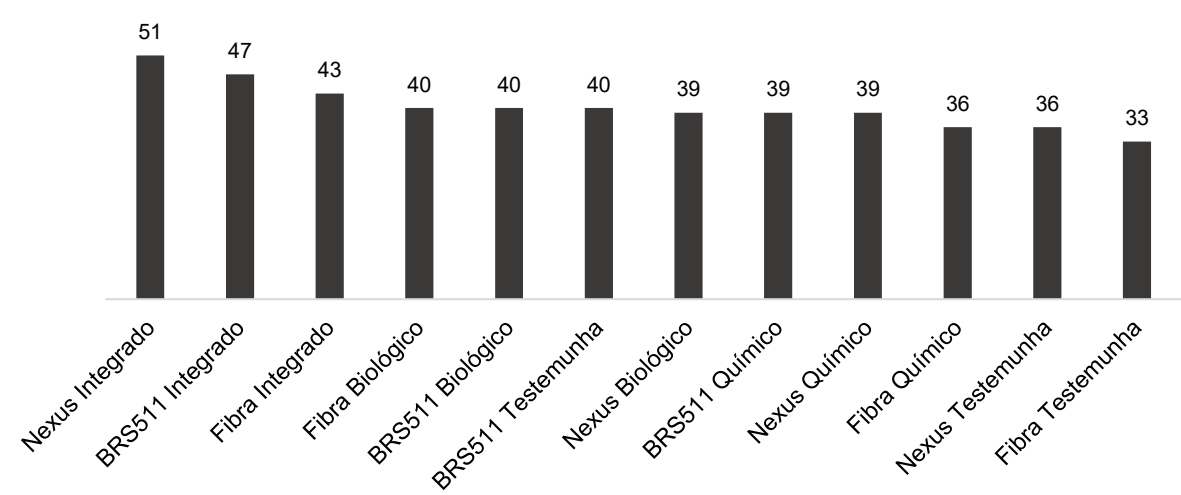


Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Safra 2023/2024, os custos foram reduzidos, porém por conta da baixa produtividade e do preço médio da saca de soja transgênica em torno de R\$106,00 e

da soja convencional R\$116,60, a receita líquida foi abaixo do esperado. Conforme Gráfico 22, o Manejo Integrado obteve a melhor receita líquida nas cultivares BRS511 e Fibra, seguido do Manejo Químico com a cultivar BRS511 e do Manejo Biológico na cultivar Fibra. A cultivar Nexus obteve as menores cultivares nesta safra, demonstrando o quanto o ataque de pragas e a seca impactou em seu desenvolvimento.

Gráfico 23. Receita líquida em sacas de soja na Safra 2024/2025.



Fonte: Resultados da pesquisa.

Na safra 2024/2025, em condições meteorológicas consideradas normais para a região, a receita líquida obtida na maior parte dos tratamentos avaliados superou 39 sacas por hectare. Destaca-se novamente a superioridade do Manejo Integrado (MI), que demonstrou os melhores resultados financeiros. O Manejo Biológico (MB) também apresentou desempenho notável, especialmente quando aplicado às cultivares Fibra e BRS511. Em contrapartida, o Manejo Químico (MQ), apesar de sua eficácia no controle, apresentou um custo-benefício desfavorável devido aos elevados custos de manejo.

Na Tabela 5, apresenta-se para fins comparativos apenas dos custos dos manejos e cultivares, sem a inclusão das demais despesas no cultivo.

Tabela 5. Custos das cultivares e manejos em reais, nas Safras 22/23, 23/24 e 24/25.

Cultivar	22/23	23/24	24/25	Manejo	22/23	23/24	24/25
Fibra	558,55	594,76	575,00	Químico	616,72	637,96	538,60
Nexus	567,27	606,55	590,00	Integrado	265,63	362,65	250,85
BRS511	414,55	370,91	392,00	Biológico	137,91	177,85	121,05

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os custos por cultivar de soja ao longo das safras 22/23, 23/24 e 24/25 demonstra uma clara distinção entre as cultivares transgênicas (Fibra e Nexus) e a convencional (BRS511). As cultivares transgênicas tem os custos de aquisição mais elevados pois geralmente inclui *royalties* por tecnologia. Mesmo que a transgenia vise à redução de outros custos, como os de controle de pragas e doenças, a consistência dos menores custos da BRS511 ao longo das três safras sugere uma vantagem econômica para a cultivar convencional.

Este comparativo demonstra que os manejos Biológico e Integrado apresentam custos significativamente menores em comparação ao manejo Químico. Para a safra 22/23, o manejo Integrado representou um custo 56,92% menor e o Biológico uma redução de 77,65% em relação ao Químico.

Na safra 23/24, o manejo Integrado foi 43,02% mais barato e o Biológico 72,11% mais econômico que o Químico. Já para a safra 24/25, as reduções foram de 53,50% para o Integrado e de 77,52% para o Biológico. Essas percentagens demonstram a robustez da economia gerada pelos manejos Biológico e Integrado, o que sugere que a adoção dessas abordagens pode resultar em benefícios econômicos substanciais para a produção da soja.

Os custos do Manejo Químico variam de acordo com o perfil do produtor e produtos que ele utiliza em sua propriedade. Produtores que adotam os princípios Manejo Integrado e utilizam a recomendação de assistência técnica agrônômica, tendem a realizar menos aplicações de agroquímicos e escolher os produtos com melhor custo-benefício. Entretanto, produtores convencionais que não são assistidos por assistência técnica podem acabar gastando mais com insumos recomendados diretamente por revendas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste estudo sugerem que o Manejo Integrado oferece o melhor Custo-benefício ao produtor rural, pois mesmo os custos de manejo serem maiores se comparado ao Manejo Biológico *On Farm*, a produtividade nas três safras pesquisadas demonstrou a receita líquida superior aos demais manejos.

O Manejo Convencional forneceu boa produtividade nas primeiras safras, porém com custos elevados, podendo variar de acordo com os produtos utilizados e perfil do produtor. Quanto ao Manejo Biológico *On Farm*, sua produtividade variou

bastante entre as três safras, porém com o baixo custo de manejo se mantendo, sendo uma alternativa viável em condições climáticas adequadas ao bom desempenho de fungos e bactérias.

Dentre as limitações deste estudo, destaca-se o tamanho do campo experimental, pois em blocos maiores seria possível uma avaliação sem possíveis interferências dentre os manejos, isolando cada bloco com distância em que as pragas não migrassem dentre eles.

Sugere-se, para pesquisas futuras, a realização de experimento de campo que contemple uma área maior, com repetições ao longo de mais de três safras. Sugere-se, também, a comparação de outros produtos e dosagens nos diferentes manejos. Além de comparar os custos do Manejo Biológico *On Farm* a partir da produção em comodato, o que pode interferir no custo final do manejo.

O objetivo deste estudo foi atendido, pois foi possível identificar o manejo que apresenta o melhor Custo-benefício ao produtor de Soja, podendo ser replicado em outras localidades, anos e diferentes monoculturas.

REFERÊNCIAS

- ADAMA BRASIL SA. Bula de agrotóxico. Acefato. Londrina-PR. 2021. Disponível em https://www.adama.com/brasil/sites/adama_brazil/files/product-documents/2022-01/Magnum_Bula.pdf. Acesso em 03 jul 2025.
- ALMEIDA, A. M. R. et al. *Macrophomina phaseolina* em Soja. 2014. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/989352/1/Doc.346OL.pdf>> Acesso em 10 jun. 2024.
- AKTAR, M. W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impacto do uso de pesticidas na agricultura: seus benefícios e perigos. **Interdiscip. Toxicol**, v. 2, p. 1-12, 2009.
- APROSOJA MS - Associação dos Produtores de Soja de Mato Grosso do Sul. Boletim Econômico. Custos de Produção. Disponível em<<https://aprosojams.org.br/boletim-economico-aprosoja/36>> Acesso em 12 jun. 2024.
- ARFAOUI, Arbia et al. Combining *Streptomyces hygroscopicus* and phosphite boosts soybean's defense responses to *Phytophthora* Sojae. **BioControl**, v. 65, p. 363-375, 2020.
- BARNHOORN, IEJ; BORNMAN, M.; VAN RENSBURG, CJ; BOUWMAN, H. Resíduos de DDT na água, sedimentos, biota doméstica e nativa de uma área atualmente pulverizada com DDT. **Chemosphere**, 77, 1236-1241, 2019.
- BARBOZA, Natacha Salvador da Cunha. Eficiência de produtos biológicos comerciais e multiplicados *on farm* no controle de pragas e doenças no cafeeiro. 2022. Disponível em < <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/36156>> Acesso em 05 out. 2023.
- BARRUFALDI, Ana Paula Frugeri. Influência das temperaturas constantes e flutuantes sobre as características biológicas de *Euschistus heros* (Fabricius)(Hemiptera: Pentatomidae) em gerações sucessivas. 2015. Disponível em <<https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/409d5e0c-d3ef-44d1-a88f-c5d9590c97a3/content>> Acesso em 16 jun. 2024.
- BAYER S.A. Bula de agrotóxico. Sphere Max. Belford Roxo-RJ. 2024. Disponível em <https://www.agro.bayer.com.br/d/inseticida-bcs-connect-br>. Acesso em 03 jul 2025.
- BERNARDES, MFF; PAZIN, M.; PEREIRA, LC; DORTA, DJ. Impacto dos Pesticidas na Saúde Humana e Ambiental. **Em Estudos de Toxicologia — Células, Drogas e Meio Ambiente**; IntechOpen: Londres, Reino Unido, pp. 195–233, 2015.
- BLAKE, Christopher; CHRISTENSEN, Mathilde Nordgaard; KOVÁCS, Ákos T. Molecular aspects of plant growth promotion and protection by *Bacillus subtilis*. **Molecular Plant-Microbe Interactions**, v. 34, n. 1, p. 15-25, 2021.
- BRASIL. Decreto nº 4.074 de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos

resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agroquímicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União, em 8 jan.2002.

BROWNBRIDGE, M. et al. Field application of biopolymercoated *Beauveria bassiana* F418 for clover root weevil (*Sitona lepidus*) control in Waikato and Manawatu. **New Zealand Plant Protection**, v. 59, p. 304-311, 2006.

CECCONELLO, Douglas Martins et al. *Heterorhabditis amazonensis* to control *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) in laboratory and field conditions. **Neotropical Entomology**, v. 51, n. 2, p. 292-298, 2022.

DARA, Surendra K. The new integrated pest management paradigm for the modern age. **Journal of Integrated Pest Management**, v. 10, n. 1, p. 12, 2019.

EILENBERG, J.; HAJEK, A.; LOMER, C. Suggestions for unifying the terminology in biological control. **BioControl**, v. 46, p. 387-400, 2001.

ELEVAGRO. Estádios fenológicos da Soja. Disponível em <<https://elevagro.com/conteudos/fotos/escala-fenologica-da-Soja>> Acesso em: 05 fev. 2023.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema Brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. 306 p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de identificação de doenças de Soja**. Documentos 256. 5ª edição. 2014. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/105942/1/Doc256-OL.pdf>> Acesso em: 20 out. 2022.

EMBRAPA. Tecnologia BioAs. Tecnologia de bioanálise de solo Embrapa como a mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produtoservico/6047/bioas-tecnologia-de-bioanalise-de-solo->. Acesso em 15 jul. 2025.

FAMASUL-Federação da Agricultura e Pecuária de Mato Grosso do Sul. Grãos. Boletim Casa Rural-Agricultura. Circular 560, 22/05/2024 Produtividade Soja 2023-2024. Disponível em < <https://portal.sistemafamasul.com.br/boletins>> Acesso em: 26 Mai. 2024.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. Ecofisiologia da Soja. Londrina: **Embrapa Soja**, 2007. 8 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 48).

FISHER, Ronald Aylmer; YATES, Frank. Tabelas estatísticas para pesquisa biológica, agrícola e médica. 1963.

FRANÇA-NETO, J. de B.; PÁDUA, G. P. de; KRZYZANOWSKI, F. C.; CARVALHO, M. L. M. de; HENNING, A. A.; LORINI, I. Semente esverdeada de Soja: causas e efeitos sobre o desempenho fisiológico - Série Sementes. Londrina: **Embrapa Soja**, 2012. 15 p. (Embrapa Soja. Circular técnica, 91).

FONTES, Eliana Maria Gouveia; VALADARES-INGLIS, Maria Cleria. Controle biológico de pragas da agricultura. Embrapa, DF. 2020. Disponível em <<https://dspace.unisa.br/server/api/core/bitstreams/a6110151-2177-4a01-96f1-33cfa80ee7c1/content>> Acesso em 12 fev. 2023.

GAAS. Sobre o GAAS. [S.l.]: GAAS Brasil, 2022. Disponível em: <https://gaasbrasil.com.br/sobre-o-gaas/>. Acesso em: 27 out. 2023.

GABARDO, Gislaine; DA SILVA, Henrique Luis; CLOCK, Djalma Cesar. "On Farm" Production of microorganisms in Brazil. **Scientia Agraria Paranaensis**, p. 312-318, 2021.

GALZER, Elisângela; AZEVEDO FILHO, Wilson. Utilização do *Bacillus thuringiensis* no controle biológico de praga. **Revista Interdisciplinar de Ciências Aplicadas**, v. 1, pág. 13-16, 2016.

GONÇALVES, V. P. Compatibilidade de agroquímicos e óleos essenciais a *Beauveria bassiana* (Bals.) Vuill e *Metarhizium anisopliae* (Metsch.) **Sorokin**. 2017.

GUEDES, Jerson Vanderlei Carús et al. Capacidade de coleta de dois métodos de amostragem de insetos-praga da Soja em diferentes espaçamentos entre linhas. **Ciência Rural**, v. 36, p. 1299-1302, 2006.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. Dados. Temperatura. Disponível em <<https://tempo.inmet.gov.br/GraficosDiarios/A001>> Acesso em: 20 Abr. 2024.

JARONSKI, Stefan T.; JACKSON, Mark A. Efficacy of *Metarhizium anisopliae* microsclerotial granules. **Biocontrol Science and Technology**, v. 18, n. 8, p. 849-863, 2008.

JUNIOR, Milton Erthal. Controle biológico de insetos pragas. **Seminário mosaico ambiental**, 2011.

JUNIOR, Aloisio Freitas Chagas et al. *Bacillus subtilis* como inoculante promotor de crescimento vegetal em soja. **Diversitas Journal**, v. 7, n. 1, p. 0001-0016, 2022.

KHAN, S. et al. Entomopathogenic fungi as microbial biocontrol agent. **Molecular Plant Breeding**, v. 3, n. 1, 2012.

KOEPPEN, Wilhelm; HENDRICHS PÉREZ, Pedro R. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **(No Title)**, 1948.

LACEY, L. A. et al. Insect pathogens as biological control agents: Back to the future. **Journal of invertebrate pathology**, v. 132, p. 1-41, 2015.

LOPES, A. A.; MARTINS, N. P.; GOMES, D.; ANDRADE, R.G., Variabilidade espaçotemporal do albedo da superfície no município de Maracaju, MS. In: Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica, 6, Jaguariúna, 2012. Anais... Jaguariúna: CIIC, 2012.

LOPES, Sinval Resende; DA PAIXÃO, Michel Augusto Santana; CRUZ, Ivan. Viabilidade econômica de biofábrica de *Trichogramma pretiosum* para uso contra pragas agrícolas da ordem Lepidoptera. **Revista iPecege**, v. 4, n. 1, p. 44-50, 2018.

MASCARIN, Gabriel Moura; PAULI, Giuliano. Bioprodutos à base de fungos entomopatogênicos. **Controle Alternativo de pragas e doenças na agricultura orgânica**, v. 1, p. 169-195, 2010.

MASCARIN, Gabriel Moura; JARONSKI, Stefan T. The production and uses of *Beauveria bassiana* as a microbial insecticide. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, p. 1-26, 2016.

MCNEILL, John Robert. **Something new under the sun: An environmental history of the twentieth-century world (the global century series)**. WW Norton & Company, 2001.

MEISSLE, Michael et al. Pests, pesticide use and alternative options in European maize production: current status and future prospects. **Journal of Applied Entomology**, v. 134, n. 5, p. 357-375, 2010.

MENDES, I. E.; et al. Bioanálise de solo: A mais nova aliada para a sustentabilidade agrícola. *Nutrição de Plantas Ciência e Tecnologia (NPCT)*, n. 8, dez. 20, p. 1-11, 2020. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128778/1/IEDA-Bioanalise-do-solo-informacoes-agronicas.pdf>> Acesso em: 20 jun 2025.

MEYLING, Nicolai V.; EILENBERG, Jørgen. Isolation and characterisation of *Beauveria bassiana* isolates from phylloplanes of hedgerow vegetation. **Mycological research**, v. 110, n. 2, p. 188-195, 2006.

MONNERTA, R. G.; et al. Controle de artrópodes-praga com bactérias entomopatogênicas. **Controle biológico de pragas da agricultura**. Brasília, DF. Embrapa, cap. 06, p. 169, 2020.

MONNERAT, R. *et al.* Manual de produção e controle de qualidade de produtos biológicos à base de bactérias do gênero *Bacillus* para uso na agricultura. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Documents (INFOTECA-E). 1ª ed. Documentos 369, 2020.

NAIDU, Yuvarani et al. Microbial starter for the enhancement of biological activity of compost tea. **Int. J. Agric. Biol**, v. 12, n. 1, p. 51-56, 2010.

NEUMAIER, Norman et al. Ecofisiologia da Soja. 2020. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1128387/1/p.-33-54-de-SP-17-2020-online.pdf>> Acesso em: 26 Mai. 2024.

OLIVEIRA, Alan Martins de et al. Controle biológico de pragas em cultivos comerciais como alternativa ao uso de agroquímicos. 2006.

PARRA, José Roberto Postali. Biological control in Brazil: an overview. **Scientia Agricola**, v. 71, p. 420-429, 2014.

PARSA, Soroush et al. Obstacles to integrated pest management adoption in developing countries. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 111, n. 10, p. 3889-3894, 2014.

PENG, Zhe-Yu et al. An update of a green pesticide: *Metarhizium anisopliae*. **All Life**, v. 15, n. 1, p. 1141-1159, 2022.

PEREIRA, Cassiano Spaziani et al. Doses de potássio com a presença de enxofre na cultura da soja. **Global science and technology**, v. 9, n. 1, 2016.

POLANCZYK, R. A.; VALICENTE, F. H.; BARRETO, M. R. Utilização de *Bacillus thuringiensis* no controle de pragas agrícolas na América Latina. **Controle Microbiano de Pragas na América Latina: avanços e desafios**. Ed. FEALQ, Piracicaba, p. 111-136, 2008.

PRAYOGO, Y. et al. Impact of biopesticide inundation on the diversity of soybean pests and diseases. In: **IOP conference series: earth and environmental science**. IOP Publishing, 2021. p. 012003.

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico de pragas e doenças. Técnicas alternativas para a produção agropecuária e defesa do meio ambiente. 2ª edição. 21, 43p. **Expressão Popular**. São Paulo. 2016.

R Development Core Team (2011). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.

RIBEIRO, MARIA LUCIA. Pesticidas: uso, legislação e controle. **Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente**, v. 9, p. 31-44, 1999.

ROSSETTI, A. G. et al. Orientações para instalação, condução e avaliação de experimentos de campo. 2017.

SÁ, Luiz Alexandre Nogueira de et al. Quarantine facilities and legal issues of the use of biocontrol agents in Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, p. 502-509, 2016.

SALLAM, Nashwa *et al.* Endophytic fungi associated with soybean plants and their antagonistic activity against *Rhizoctonia solani*. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 31, n. 1, p. 1-9, 2021.

SANDINI, Itacir Eloi; NAKATANI, André Shigueyoshi; GATO, Isabela Martins Bueno. Consórcio de *Bacillus* spp. melhora o desenvolvimento vegetal e aumenta a produtividade da cultura da soja. **Revista Delos**, v. 18, n. 68, p. e5471-e5471, 2025.

SANTOS, Adailson; DINNAS, Sophia; FEITOZA, Adriane. Qualidade microbiológica de bioprodutos comerciais multiplicados *on farm* no Vale do São Francisco: dados preliminares. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 34, 2020.

SCHEUERELL, Steve; MAHAFFEE, Walter. Compost tea: principles and prospects for plant disease control. **Compost Science & Utilization**, v. 10, n. 4, p. 313-338, 2002.

SCHEUERELL, Steven J.; MAHAFFEE, Walter F. Compost tea as a container medium drench for suppressing seedling damping-off caused by *Pythium ultimum*. **Phytopathology**, v. 94, n. 11, p. 1156-1163, 2004.

SHABAN, Hatam et al. An Overview of the Benefits of Compost tea on Plant and Soil Structure. **Advances in BioResearch**, v. 6, n. 1, 2015.

SIDDIQUI, Yasmeen et al. Bio-potential of compost tea from agro-waste to suppress *Choanephora cucurbitarum* L. the causal pathogen of wet rot of okra. **Biological Control**, v. 49, n. 1, p. 38-44, 2009.

SILVA, Paola; BEZERRA, Maria das Graças Ferraz; FERREIRA, Degson. A utilização do controle biológico de pragas na cultura da Soja nos Municípios de Guaraí, Nova Rosalândia e Porto Nacional–TO–Brasil. **Revista Espacios**, v. 39, n. 39, p. 11, 2018.

SILVA, BÁRBARA KARINE DE ALBUQUERQUE et al. Toxicity of insecticides used in muskmelon on first-instar larvae of *Chrysoperla genanigra* Freitas (Neuroptera: Chrysopidae). **Revista Caatinga**, v. 30, p. 662-669, 2017.

SUJII, E. R.; et al. Relações ecológicas no controle biológico. Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF. **Embrapa**, cap. 02, p. 55, 2020.

SUMITOMO CHEMICAL BRASIL INDÚSTRIA QUÍMICA S.A. Bula de agrotóxico. Kaiso. Maracanaú-CE. 2023. Disponível em <https://www.sumitomochemical.com.br/wp-content/uploads/products/files/inseticidas-kaiso-250-cs-bula-1.pdf>. Acesso em 03 jul 2025.

SUMITOMO CHEMICAL BRASIL INDÚSTRIA QUÍMICA S.A. Adesil®: adjuvantes. Disponível em: <https://www.sumitomochemical.com.br/produtos/adjuvantes/adesil/>. Acesso em: 05 jul 2025.

TARAKANOV, Rashit I. et al. Bacteriophage Control of *Pseudomonas savastanoi* pv. *glycinea* in Soybean. **Plants**, v. 11, n. 7, p. 938, 2022.

TAVELLA, Leonardo Barreto et al. O uso de agroquímicos na agricultura e suas consequências toxicológicas e ambientais. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 7, n. 2, p. 06-12, 2012.

THANCHAROEN, A. et al. Effective biological control of an invasive mealybug pest enhances root yield in cassava. **Journal of pest science**, v. 91, p. 1199-1211, 2018.

TEAS, AERATED VS NONAERATED COMPOST. Building a knowledge base for compost tea. **BioCycle**, v. 45, n. 6, p. 32, 2004.

USDA-ARS (United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service). 2018. A national road map for integrated pest management. Disponível em <<https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/OPMP/IPM%20Road%20Map%20FINAL.pdf>> Acesso em: 10 mar 2022.

VALADARES-INGLIS, M. C.; LOPES, R. B.; FARIA, M. R. Controle de artrópodes-praga com fungos entomopatogênicos. **Controle biológico de pragas da agricultura. Embrapa, Brasília**, p. 201-236, 2020.

VEGA, Fernando E. et al. Fungal entomopathogens: new insights on their ecology. **Fungal ecology**, v. 2, n. 4, p. 149-159, 2009.

VITORINO, Luciana Cristina et al. Biocontrol potential of *Sclerotinia sclerotiorum* and physiological changes in soybean in response to *Butia archeri* palm rhizobacteria. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 64, 2020.

VÖING, Kristin; HARRISON, Alisha; SOBY, Scott D. Draft genome sequences of three *Chromobacterium subtsugae* isolates from wild and cultivated cranberry bogs in southeastern Massachusetts. **Genome Announcements**, v. 3, n. 5, p. 10.1128/genomea.00998-15, 2015.

ZAMBIAZZI, Everton Vinicius et al. Patogenicidade de *Beauveria bassiana* no controle in vitro da lagarta-da-espiga do milho (*Helicoverpa zea*). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 39, n. 1, p. 89-94, 2016.

ZIMMERMANN, Gisbert. Review on safety of the entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae*. **Biocontrol Science and technology**, v. 17, n. 9, p. 879-920, 2007.

CAPÍTULO 4 – AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA AMBIENTAL E ECONÔMICO DOS MANEJOS: BIOLÓGICO ON FARM, INTEGRADO E CONVENCIONAL NA SOJA

Resumo: A importância econômica e industrial da Soja, a torna um dos principais grãos produzidos mundialmente. O Brasil, é o maior produtor e exportador dessa oleaginosa, com mais de 43 milhões de hectares plantados. Para atender a demanda de Soja, reduzindo as perdas de produção, faz-se necessário o controle de pragas e doenças. No manejo convencional utiliza-se agroquímicos, porém devido a adaptação das pragas, a cada ano são desenvolvidos novos compostos químicos, causando efeitos colaterais no meio ambiente. Estudos da eficiência sobre métodos alternativos de manejo agrícola, visando a redução do uso de agroquímicos têm sido amplamente investigados e disseminados nos últimos anos, com ênfase no Manejo Integrado e no Controle Biológico. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho ambiental e econômico dos manejos: Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional na cultura da soja, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O inventário de cada manejo foi elaborado a partir de dados primários do experimento de campo conduzido nas safras de Soja 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025. A unidade funcional considerada foi de 1 hectare. A ACV foi realizada de acordo com as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 e para a avaliação dos impactos ambientais foi utilizado o software SimaPro® versão 9.6.0.1. Para a avaliação econômica foram levantados os custos de cada manejo e receitas da produção, identificando assim qual manejo é mais atrativo economicamente. Os resultados demonstram que o Manejo Biológico apresentou os menores impactos ambientais e custos de produção, porém com menor receita e rentabilidade. O Manejo Convencional obteve elevada receita, mas altos custos reduziram sua competitividade, além do pior desempenho ambiental. O Manejo Integrado demonstrou maior estabilidade econômica, associando alta produtividade, menor custo e menor impacto ambiental.

Palavras-chave: Análise ambiental; Bioeconomia; Conservação ambiental; Produção sustentável.

1. INTRODUÇÃO

A soja é uma oleaginosa de grande importância econômica mundial. Seus grãos contêm alta concentração proteica e juntamente com o óleo são utilizados na alimentação humana, o farelo para a confecção de ração de animais e o óleo também é utilizado na produção de biodiesel, plástico, tintas, medicamentos, entre outros (Cruz; Siqueira, 2021). Representa 4,5% da economia do Brasil e 20,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro (CEPEA, 2024).

A exploração intensiva em monoculturas, tende a causar danos ambientais caso não sejam adotadas práticas de manejo sustentáveis. O uso de agroquímicos é

uma das preocupações da sociedade civil, que demanda cada vez mais que a produção agrícola siga padrões sustentáveis (Garcia *et al.*, 2018).

A crescente demanda por novos métodos e ferramentas para avaliar os impactos no setor agrícola é evidenciada pela sua significativa contribuição para externalidades negativas, principalmente devido às práticas de produção inadequadas. Simultaneamente, a adoção consciente de práticas mais sustentáveis, do ponto de vista ambiental, deve atender às necessidades econômicas dos agricultores, incluindo a estabilidade de renda, a redução de custos e o aumento da produtividade (Falcone *et al.*, 2016).

A análise do Custo Ambiental do Ciclo de Vida, é uma ferramenta sistemática usada para avaliar os impactos ambientais de um produto ou serviço, durante todo o período do seu ciclo de vida (Daylan; Ciliz, 2016; Ciambrone, 2018). “Os resultados das ACV podem constituir a base para a tomada de decisões para os decisores políticos, produtores, bem como para os consumidores, na seleção de produtos e processos de produção sustentáveis” (Roy *et al.*, 2009,p).

No estudo realizado por Meier (2015), revisou-se 34 estudos comparativos de ACV de produtos agrícolas orgânicos e convencionais. O autor conclui que considerando as ACV comparativas sobre manejos biológicos e convencionais, muitas vezes, não diferenciam adequadamente as características específicas dos sistemas de produção na definição do objetivo e do âmbito e na análise do inventário. E, que são necessárias avaliações abrangentes que descrevam fielmente os impactos ambientais dos diferentes sistemas agrícolas.

Diante da necessidade de estudos capazes de demonstrar a eficiência ambiental e econômica da soja produzida em diferentes manejos de pragas e doenças, este estudo coloca-se como inédito. Pois, compara três tipos de produção, apresentando métodos alternativos aos agroquímicos para o controle de pragas e doenças na soja.

O objetivo geral deste estudo é comparar o desempenho ambiental e econômico de três estratégias de manejo de pragas e doenças na cultura da soja: Convencional, Integrado e Biológico *On Farm*, para o controle de pragas e doenças na cultura da Soja. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) conforme as normas ISO 14040/14044 e uma análise econômica baseada

em dados primários coletados em experimentos de campo conduzidos ao longo de três safras consecutivas (2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025).

Os resultados deste estudo, fornecerão informações transparentes que podem ser úteis para interpretar os impactos ambientais e econômicos para auxiliar na tomada de decisões por produtores rurais na adoção dos manejos de pragas e doenças na cultura da Soja. Nesta direção, este estudo contribui para a literatura existente, por se tratar do primeiro estudo que avalia os impactos econômicos e ambientais dos diferentes manejos na cultura da Soja, com experimento de campo em diferentes safras. Espera-se também, que este estudo possa contribuir para o estímulo de políticas públicas ligadas a métodos alternativos de manejo da Soja.

Este capítulo está dividido em 5 sessões, iniciando pela Introdução, Revisão bibliográfica, Materiais e métodos, Resultados e discussão, além da Conclusão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente seção apresenta os principais conceitos e estudos sobre os tipos de manejos de pragas e doenças na soja, além dos conceitos e definições sobre a Avaliação do Ciclo de Vida. Esta seção está dividida em subseções. Na primeira subseção, são apresentados conceitos e externalidades no uso de agroquímicos, além de estudos sobre seus impactos; na segunda, são apresentados conceitos, definições e estudos sobre métodos alternativos de manejos de pragas e doenças; na terceira, são apresentados conceitos e definições da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) Ambiental e Econômico. Estas subseções ofereceram a base para construir o referencial teórico das relações analisadas neste estudo.

2.1. Agroquímicos e suas externalidades

Agroquímicos são substâncias organossintéticas, desenvolvidas a partir da década de 1940, utilizados como arma sintética na II Guerra Mundial, no Vietnã e na Guerra da Coreia. Neste mesmo período surgiu a Revolução Verde, que foi um conjunto de inovações tecnológicas e práticas agrícolas introduzidas com o objetivo de aumentar a produtividade agrícola e combater a fome global. Apesar dos benefícios na redução da fome, a Revolução Verde trouxe desafios, como o esgotamento dos recursos naturais, a degradação do solo e a dependência de agroquímicos (Dutra; Souza, 2022), bem como um conjunto de externalidades negativas.

Externalidades são os efeitos colaterais de uma atividade econômica (bens ou serviços) que afetam terceiros que não estão envolvidos diretamente na atividade. Esses efeitos podem ser positivos ou negativos e, em geral, não são refletidos nos preços de mercado (Silva, 2017).

Os custos de externalidade são os custos sociais ou ambientais causados a terceiros, não considerados no sistema econômico devido à falta de valor monetário direto no mercado. Eles incluem benefícios e danos ambientais não precificados devido a direitos de propriedade indefinidos (Martinez-Sanchez *et al.*, 2015). Geralmente não afetam diretamente os resultados financeiros das empresas, levando a uma subvalorização dos impactos ambientais nos cálculos tradicionais.

O uso de agroquímicos é um exemplo de externalidade na agricultura, que pode causar mudanças na composição microbiana do solo, podendo alterar funções do solo, dentre elas as taxas de respiração e liberação de carbono para a atmosfera (Hussain *et al.*, 2009; Crowther *et al.*, 2015). A degradação do solo, o uso excessivo de agroquímicos para manejo de pragas e doenças, bem como o uso de fertilizantes sintéticos, são desafios ambientais que afetam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas (Pretty; Bharucha, 2015).

Em uma investigação sobre os determinantes no uso excessivo de agroquímicos na produção de arroz, milho e trigo na China, no período de 1985 a 2014, concluiu-se que quando os preços de venda dos produtos aumentam, estimula os produtores a intensificarem a produção e, conseqüentemente, aumenta-se o uso de agroquímicos. Constatou-se, também, que políticas do governo tem papel crucial na diminuição do uso destes produtos, bem como a instrução dos produtores em métodos de manejo e práticas alternativas com menor impacto ao meio ambiente (Sun; Zhang; Hu, 2020).

Um estudo utilizando programação matemática, realizado por Koleva; Mccarl; Schneider (2009) nos EUA, avaliou os custos externos dos agroquímicos e sua interação com as alterações climáticas em quatro períodos (2000, 2030, 2060 e 2090) e duas projeções climáticas. Concluiu-se que, ao considerar os custos externos dos pesticidas, os agricultores tendem a reduzir substancialmente o uso desses produtos em culturas como milho e soja. Sugere-se, neste estudo, o desenvolvimento de uma política de taxação de agroquímicos baseada nos danos ambientais e à saúde, diferente das atuais que apenas proíbem determinadas formulações.

O clima tropical brasileiro torna possível o cultivo de múltiplas safras, porém, além de não haver inverno rigoroso e a possibilidade de manter uma “ponte verde”, essa prática favorece a permanência de pragas e doenças. Em consequência disso, são utilizados mais agroquímicos (Vasconcelos, 2018; Cunha *et al.*, 2019; Frisvold, 2019).

Diante disso, faz-se necessário a adoção de técnicas sustentáveis. O controle biológico traz diversas vantagens, pois diminui a possibilidade de resistência das pragas (Fontes e Valadares-Inglis, 2020). E além disso, não causa danos ao meio ambiente, pois não deixa resíduos e não possui riscos toxicológicos, além de oferecer benefícios econômicos ao produtor, pois os custos de produção são consideravelmente menores (Bale, Vanlenteren e Bigler, 2008; Fontes e Valadares-Inglis, 2020).

Rodrigues (2022), analisou a produtividade e o uso excessivo dos agroquímicos no Brasil e estimou o valor do produto marginal entre 2006 e 2017. Os resultados demonstram que a produtividade dos agroquímicos está diminuindo, ou seja, aplicam-se maiores quantidades para manter a produção de safras anteriores, aumentando os custos de produção. A autora conclui que, alternativas sustentáveis como o Manejo Integrado e o Controle Biológico, juntamente com a iniciativa de cooperativas e a formulação de linhas de crédito específicas, podem contribuir para a diminuição no uso de agroquímicos e consequentemente, diminuir os custos de produção, aumentando assim a lucratividade.

2.2. Métodos alternativos para o controle de pragas e doenças

Diante das preocupações relacionadas aos impactos ambientais e na saúde humana causada pelo uso intensivo de agroquímicos, a Comissão da União Europeia desenvolveu uma estratégia intitulada “Do Prado ao Prato”, que estabeleceu a meta de redução em 50% do uso e riscos associados aos agroquímicos até 2030 (European Commission, 2020). É importante considerar que as inovações tecnológicas podem contribuir para o controle de pragas sem comprometer o volume de produção, direcionando para uma bioeconomia sustentável (Kuhn *et al.*, 2022).

Um dos métodos alternativos para o controle de pragas e doenças, é o Manejo Integrado (MI), que engloba diversas ações que visam manter baixos os níveis de danos de pragas evitando danos econômicos, sociais e ecológicos (De Silva *et al.*, 2019; Parra *et al.*, 2024). Na adoção do manejo integrado, a lavoura deve ser

monitorada semanalmente, utilizando-se agentes de controle biológico, enquanto os agroquímicos são aplicados apenas quando as pragas representam risco de dano à cultura (Conte *et al.*, 2015). A falta de conhecimento técnico e mão de obra para a realização dos procedimentos de amostragem, é um dos fatores limitantes na adoção do MI. (Bueno *et al.*, 2021).

Além do Manejo Integrado, no qual utilizam-se diversas abordagens objetivando a redução do uso de agroquímicos, existe também o Controle Biológico, que consiste na utilização de inimigos naturais para controlar pragas, aumentar a resistência de plantas e melhorar a microbiologia do solo (Galzer; Azevedo Filho, 2016). No Controle Biológico, além dos produtos comerciais disponíveis, o produtor rural pode realizar a multiplicação de microrganismos em sua propriedade, intitulado como *On Farm* (Bettiol, 2022). Este sistema de multiplicação de fungos e bactérias benéficas, reduzem os custos de produção, tornando este método atraente ao produtor rural (Dallago *et al.*, 2022).

2.3. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

A ACV é uma ferramenta essencial para analisar de forma abrangente o uso de recursos, bem como os impactos ambientais associados a todas as etapas do ciclo de vida de produtos e serviços (Longo *et al.*, 2017). No contexto da cultura da soja, a aplicação de uma ACV ambiental e econômica é indispensável, pois permite identificar e quantificar os impactos ambientais e os custos e benefícios associados ao cultivo. Ao integrar a ACV, produtores e gestores podem tomar decisões mais informadas e sustentáveis, considerando tanto os aspectos ecológicos quanto os econômicos.

Ao aplicar o método da ACV, os impactos ambientais são analisados em toda a cadeia de produtos, o que facilita a identificação e mitigação das fontes de emissão importantes. Isso ajuda a encontrar pontos críticos na cadeia produtiva para a adoção de ações mais eficazes na redução dos impactos ambientais (Timonen *et al.*, 2017).

A ausência de análises econômicas detalhadas integradas à Avaliação do Ciclo de Vida Ambiental reduz a relevância desse instrumento para os tomadores de decisão, que precisam equilibrar prioridades econômicas além das sociais e ambientais. Há uma demanda crescente por conhecimento fundamentado em pesquisa que integre os aspectos ambientais (ACV) e econômicos (ACC) de produtos e serviços (Timonen *et al.*, 2017).

Para realizar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), existem diversos padrões e métodos estabelecidos. As normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006) fornecem uma estrutura padronizada para estudos de ACV ambiental. A ISO 14044 define uma estrutura de análise de ciclo de vida, incluindo definição de objetivos e escopo, análise de inventário, avaliação de impacto ambiental e interpretação dos resultados. Além disso, o manual do Sistema Internacional de Dados do Ciclo de Vida de Referência (ILCD), apresenta orientações metodológicas para este tipo de análise (Tabela 1).

Tabela 1. Escopo para a realização da Análise do Ciclo de Vida Ambiental e Econômico.

Etapas	Descrição
Definição de objetivo e escopo	Esta etapa define a unidade funcional, limites do sistema, pressupostos, categorias de impacto e seleção do método de alocação.
Inventário econômico e ambiental	São inventariados todos os recursos extraídos do meio ambiente e as emissões lançadas no meio ambiente ao longo de todo o ciclo de vida de um produto. Além da alocação dos custos dos produtos e operações.
Avaliação de impacto	Os resultados do inventário são traduzidos em categorias de impacto ambiental, são convertidos em uma unidade comum usando fatores de caracterização.
Interpretação	Os resultados do inventário e da avaliação de impacto ambiental e econômico são verificados e avaliados. Gerando um conjunto de conclusões e recomendações.

Fonte: Adaptado de Hunkeler *et al.*, (2008).

Conforme apresentado na Tabela 1, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um processo estruturado que compreende quatro etapas inter-relacionadas. Se inicia com a definição de objetivo e escopo, onde são estabelecidos os parâmetros e as fronteiras do estudo. Em seguida, na etapa de inventário econômico e ambiental, ocorre a coleta de dados sobre os insumos e emissões ao longo de todo o ciclo de vida do produto. Posteriormente, na avaliação de impacto, esses dados são convertidos em categorias de impacto ambiental, o que permite a quantificação dos efeitos gerados. Por fim, a etapa de interpretação dos resultados, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisões e a elaboração de recomendações estratégicas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A unidade funcional utilizada neste estudo foi de 1 hectare. Os limites do sistema avaliado foram baseados no “berço ao portão”, onde são contabilizadas as emissões e impactos ambientais desde a extração de matéria-prima e recursos naturais até a distribuição do produto, considerando as etapas intermediárias como o transporte e processamento, associadas aos insumos utilizados em cada manejo.

Foram tabulados em planilha utilizando o Microsoft Excel®, as informações: Manejo (Convencional, Integrado e Biológico *On Farm*), produto utilizado, finalidade do produto, ingrediente ativo, dosagem utilizada, processo de fabricação e distribuição, transporte e descarte de materiais.

3.1. Inventário dos manejos de pragas e doenças

Para a elaboração do inventário, foram utilizados dados primários coletados de entradas e saídas dos produtos utilizados na pesquisa do campo experimental de Soja, realizado em Maracaju, no Estado de Mato Grosso do Sul, Brasil, durante as safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025, onde foram comparados os manejos: Manejo Convencional, Manejo Integrado e Biológico *On Farm*, para o controle de pragas e doenças.

3.2. Avaliação dos impactos ambientais

A Avaliação Ambiental do Ciclo de Vida obedece às normas ISO 14040 (Princípios e estrutura), 14044 (Requisitos e orientações) e ISO 14067:2018 (Gases de Efeito Estufa - Pegada de Carbono de Produtos - Requerimentos e Guia para Quantificação). A modelagem de emissão dos produtos utilizados se deu conforme recomendação do Ecoinvent e a avaliação dos impactos foi realizada pelo *Software* SimaPro® versão 9.6.0.1. Método ReCiPe Midpoint (H) V1.13/World Recipe H. As categorias de impacto analisadas foram: Mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, esgotamento de água e esgotamento fóssil.

3.3. Avaliação dos impactos econômicos

Os valores econômicos utilizados, foram extraídos dos dados primários do experimento de campo. Sendo eles, os custos para produção dos insumos biológicos produzidos *On Farm*, incluindo custos da energia elétrica, água, mão-de-obra e matéria-prima, divididos pela dosagem aplicada em 1 hectare. E, os custos dos insumos químicos, sendo o preço dos produtos adquiridos em revenda, além dos custos com combustível de transporte e mecanização para os três manejos. Para as receitas, foi estimada a média de produtividade das safras avaliadas e a média de preços praticados na região de estudo neste período. Os custos dos manejos e receita

por hectare foram convertidos em sacas de soja, conforme valores praticados em cada ano/safra.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, apresentam-se inicialmente as emissões de GEE (Gases do Efeito Estufa) e posteriormente os impactos: mudanças climáticas, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, esgotamento de água e esgotamento fóssil, comparando o desempenho ambiental nos diferentes manejos de pragas e doenças na soja: Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional.

Em seguida, apresentam-se os resultados econômicos de cada manejo, onde são apresentados os custos (média de preços praticados no momento da aquisição dos insumos) e as receitas (média de preços praticados no momento da colheita).

4.1. Avaliação ambiental dos manejos de pragas e doenças na soja

Para a análise dos impactos ambientais nos diferentes manejos na soja, consideraram-se as emissões de GEE provenientes da produção dos insumos biológicos e químicos, transporte e mecanização além da produção em grãos, conforme demonstrado nas Tabelas 2, 3 e 4. A Tabela 2 apresenta o Inventário da Safra 2022/2023.

Tabela 2. Inventário ambiental do ciclo de vida dos manejos Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional, para 1 hectare de Soja, Safra 2022/2023.

Safra 22/23				
Entradas	Unidade	Bio. On Farm	Integrado	Convencional
insumos biológicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	23,00	23,00	0,00
insumos químicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	0,00	1,30	2,60
energia produção	kWh/ha ⁻¹	24,84	24,84	0,00
água produção	lt/ha ⁻¹	23,00	23,00	0,00
água aplicação	lt/ha ⁻¹	562,65	561,35	436,63
água tríplex lavagem	lt/ha ⁻¹	0,0000	0,9750	1,9500
diesel aplicação	lt/ha ⁻¹	1,64	1,64	1,23
transporte aquisição insumos (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,0042	0,0060	0,0035
transporte descarte embalagens (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,00	0,0017	0,0035
diesel consumo total	lt/ha ⁻¹	1,64	1,65	1,24
				Continua...

Saídas				
rendimento produção	kg/ha ⁻¹	3900,00	4276,00	4486,00
emissões para o ar (transporte e operações)				
queima de diesel	kg CO _{2eq}	4,41E+00	4,42E+00	3,31E+00
queima de diesel	kg CH ₄	8,22E-03	8,24E-03	6,18E-03
queima de diesel	kg N ₂ O	9,87E-04	9,89E-04	7,42E-04
queima de diesel	kg SO ₂	3,29E-03	3,30E-03	2,47E-03
queima de diesel	kg NH ₃	1,64E-04	1,65E-04	1,24E-04
emissões para o ar (fungicida e inseticida)	kg CO _{2eq}	0,0000	14,4300	28,8600

Fonte: Resultados da pesquisa.

Conforme (Tabela 2). A análise das entradas e saídas do sistema apresenta diferenças significativas entre os manejos. O manejo Biológico *On Farm* apresenta as menores emissões de CO_{2eq} e outros gases atmosféricos associadas ao manejo Convencional. Apesar da eficiência ambiental do manejo Biológico *On Farm* em termos de emissões, os manejos Integrado e Convencional demonstraram maior rendimento de produção (4276 kg/ha⁻¹ e 4486 kg/ha⁻¹, respectivamente) em comparação ao manejo Biológico (3900 kg/ha⁻¹).

Tabela 3. Inventário ambiental do ciclo de vida dos manejos Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional, para 1 hectare de Soja, Safra 2023/2024.

Safra 23/24				
Entradas	Unidade	Bio. On Farm	Integrado	Convencional
insumos biológicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	31,00	31,00	0,00
insumos químicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	0,00	1,85	3,55
energia produção	kWh/ha ⁻¹	33,48	33,48	0,00
água produção	lt/ha ⁻¹	31,00	31,00	0,00
água aplicação	lt/ha ⁻¹	701,06	699,21	582,10
água tríplex lavagem	lt/ha ⁻¹	0,0000	1,3900	2,6600
diesel aplicação	lt/ha ⁻¹	2,05	2,05	1,23
transporte aquisição insumos (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,0057	0,0082	0,0047
transporte descarte embalagens (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,00	0,0017	0,0035
diesel consumo total	lt/ha ⁻¹	2,06	2,06	1,24
Saídas				
rendimento produção	kg/ha ⁻¹	2351,8	2778,4	2806,6
emissões para o ar (transporte e operações)				
queima de diesel	kg CO _{2eq}	5,51E+00	5,52E+00	3,32E+00
queima de diesel	kg CH ₄	1,03E-02	1,03E-02	6,19E-03

Continua...

queima de diesel	kg N ₂ O	1,23E-03	1,24E-03	7,43E-04
queima de diesel	kg SO ₂	4,11E-03	4,12E-03	2,48E-03
queima de diesel	kg NH ₃	2,06E-04	2,06E-04	1,24E-04
emissões para o ar (fungicida e inseticida)	kg CO _{2eq}	0,0000	20,5350	39,4050

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em comparação entre as safras 2022/2023 (Tabela 2) e 2023/2024 (Tabela 3), observa-se que, na safra 23/24, todos os manejos apresentaram uma redução significativa no rendimento de produção. Especificamente, o manejo Biológico *On Farm* e o Integrado registraram um aumento no uso de insumos, o que resultou em um maior consumo de água e diesel para aplicação. Consequentemente, as emissões de gases associadas a esses insumos também foram maiores na safra 2023/2024 para ambos os manejos. Essas variações sugerem que as condições ambientais e operacionais de cada safra influenciam diretamente a produtividade e o inventário de entradas e saídas, reforçando a importância do monitoramento contínuo para a avaliação da sustentabilidade.

Tabela 4. Inventário ambiental do ciclo de vida dos manejos Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional, para 1 hectare de Soja, Safra 2024/2025.

Safra 24/25				
Entradas	Unidade	Bio. On Farm	Integrado	Convencional
insumos biológicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	15,00	15,00	0,00
insumos químicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	0,00	0,95	2,60
energia produção	kWh/ha ⁻¹	16,20	16,20	0,00
água produção	lt/ha ⁻¹	15,00	15,00	0,00
água aplicação	lt/ha ⁻¹	424,24	423,29	436,64
água tríplice lavagem	lt/ha ⁻¹	0,0000	0,7100	1,9500
diesel aplicação	lt/ha ⁻¹	1,23	1,23	1,23
transporte aquisição insumos (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,0028	0,0040	0,0035
transporte descarte embalagens (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,00	0,0017	0,0035
diesel consumo total	lt/ha ⁻¹	1,23	1,24	1,24
Saídas				
rendimento produção	kg/ha ⁻¹	3620	4120	3700
emissões para o ar (transporte e operações)				
queima de diesel	kg CO _{2eq}	3,30E+00	3,32E+00	3,32E+00
queima de diesel	kg CH ₄	6,15E-03	6,20E-03	6,20E-03
queima de diesel	kg N ₂ O	7,38E-04	7,44E-04	7,44E-04
queima de diesel	kg SO ₂	2,46E-03	2,48E-03	2,48E-03
queima de diesel	kg NH ₃	1,23E-04	1,24E-04	1,24E-04
emissões para o ar (fungicida e inseticida)	kg CO _{2eq}	0,0000	10,5450	28,8600

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Conforme apresentado na Tabela 4, o manejo Integrado alcançou o maior rendimento de produção (4120 kg/ha-1), superando os manejos Biológico *On Farm* (3620 kg/ha-1) e Convencional (3700 kg/ha-1). Para as emissões de CO_{2eq}, no entanto, o manejo Convencional tem as maiores emissões associadas aos insumos químicos (28,86 kg CO_{2eq}), enquanto o Biológico *On Farm* tem emissão zero nesse quesito e o Integrado apresenta um valor intermediário (10,5450 kg CO_{2eq}).

Tabela 5. Inventário ambiental do ciclo de vida dos manejos Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional, para 1 hectare de Soja, média das Safras 2022/2023, 2023/2024 e 2024/2025.

Média das safras 22/23, 23/24 e 24/25				
Entradas	Unidade	Bio. On Farm	Integrado	Convencional
insumos biológicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	23,00	23,00	0,00
insumos químicos (inseticidas e fungicidas)	lt/ha ⁻¹	0,00	1,37	2,92
energia produção	kWh/ha ⁻¹	24,84	24,84	0,00
água produção	lt/ha ⁻¹	23,00	23,00	0,00
água aplicação	lt/ha ⁻¹	562,65	561,28	484,63
água tríplice lavagem	lt/ha ⁻¹	0,0000	1,0275	2,1900
diesel aplicação	lt/ha ⁻¹	1,64	1,64	1,37
transporte aquisição insumos (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,0042	0,0060	0,0039
transporte descarte embalagens (diesel)	lt/ha ⁻¹	0,00	0,0017	0,0035
diesel consumo total	lt/ha ⁻¹	1,64	1,65	1,37
Saídas				
rendimento produção	kg/ha ⁻¹	3290,6	3724,8	3664,2
emissões para o ar (transporte e operações)				
queima de diesel	kg CO _{2eq}	4,40E+00	4,42E+00	3,67E+00
queima de diesel	kg CH ₄	8,20E-03	8,25E-03	6,85E-03
queima de diesel	kg N ₂ O	9,84E-04	9,90E-04	8,22E-04
queima de diesel	kg SO ₂	3,28E-03	3,30E-03	2,74E-03
queima de diesel	kg NH ₃	1,64E-04	1,65E-04	1,37E-04
emissões para o ar (fungicida e inseticida)	kg CO _{2eq}	0,0000	15,2070	32,4120

Fonte: Autores.

Ao comparar a média das três safras nos três manejos, observa-se que o manejo Integrado mantém a liderança em termos de produtividade, com o maior rendimento médio de 3724,8 kg/ha⁻¹. Ele supera o manejo Convencional (3664,2 kg/ha⁻¹) e o Biológico *On Farm* (3290,6 kg/ha⁻¹), reforçando a ideia de que a combinação de insumos biológicos e químicos pode otimizar a produção ao longo do tempo.

A média das safras mostra que o manejo Convencional utiliza quase o dobro de insumos químicos (2,92 lt/ha⁻¹) em comparação com o Integrado (1,37 lt/ha⁻¹). O manejo Convencional tem a maior emissão (32,4120 kg CO_{2eq}), seguido pelo

Integrado (15,2070 kg CO_{2eq}), enquanto o Biológico *On Farm* não gera emissões nesse item. Embora o consumo total de diesel seja maior para os manejos Biológico *On Farm* e Integrado, as emissões relacionadas aos insumos químicos são o principal fator de diferenciação ambiental entre os três sistemas.

Nota-se que para a aplicação dos defensivos, nos manejos Biológico e Integrado, utiliza-se um volume de água maior, pois, nestes manejos é realizada a aplicação preventiva, diferente do manejo convencional em que as aplicações são calendarizadas. Porém, nos manejos Químico e Integrado, é realizada a tríplice lavagem dos recipientes utilizados para armazenagem dos produtos químicos, conforme determinado na legislação brasileira. Além do combustível utilizado no transporte para o descarte destas embalagens em locais cadastrados.

Os manejos sofreram alterações dentre as safras, pois o índice de infestação de pragas e doenças determinou a alteração nos protocolos. Porém, no Manejo Químico, manteve-se a recomendação padrão calendarizada com três aplicações de agrotóxicos nas Safras 22/23 e 24/25, e na Safra 23/24 foi realizada uma aplicação extra, pois o nível de pragas estava altamente elevado. Nos Manejos Biológico e Integrado, foram realizadas as seguintes aplicações: Quatro aplicações na safra 22/23, Cinco aplicações na safra 23/24 e três aplicações na safra 24/25.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados dos impactos dos três manejos, nas três safras analisadas. As categorias de impacto analisadas são: Aquecimento global, acidificação terrestre, eutrofização de água doce, ecotoxicidade terrestre, ecotoxicidade de água doce, escassez de recursos fósseis e consumo de água.

Tabela 6. Impacto ambiental dos manejos: Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional nas Safras 22/23, 23/24 e 24/25.

Safra 22/23				
Categoria de impacto	Unit	Biológico	Convencional	Integrado
Consumo de água	m3	0,000292	0,000159	0,000295
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,000992	0,002114	0,001814
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB	0,000349	0,000428	0,000507
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	0,072595	0,053931	0,07785
Eutrofização de água doce	kg P eq	7,98E-07	3,57E-06	2,42E-06
Acidificação terrestre	kg SO2 eq	1,41E-05	2,12E-05	2,09E-05
Aquecimento global	kg CO2 eq	0,003814	0,006858	0,006349
Continua...				

Safr 23/24				
Categoria de impacto	Unit	Biológico	Convencional	Integrado
Consumo de água	m3	0,000627	0,00034	0,000595
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,002128	0,004396	0,003786
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB	0,000763	0,0009	0,001059
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	0,15473	0,101494	0,155981
Eutrofização de água doce	kg P eq	1,70E-06	7,60E-06	5,15E-06
Acidificação terrestre	kg SO2 eq	3,01E-05	4,31E-05	4,31E-05
Aquecimento global	kg CO2 eq	0,008198	0,014181	0,013202
Safr 24/25				
Categoria de impacto	Unit	Biológico	Convencional	Integrado
Consumo de água	m3	0,000222	0,000193	0,000217
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,000759	0,002563	0,001357
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB	0,000256	0,000519	0,000368
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	0,05617	0,065383	0,058253
Eutrofização de água doce	kg P eq	6,15E-07	4,33E-06	1,83E-06
Acidificação terrestre	kg SO2 eq	1,08E-05	2,57E-05	1,57E-05
Aquecimento global	kg CO2 eq	0,002906	0,008315	0,004733

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na Tabela 6, são apresentados os resultados dos impactos utilizando as médias das três safras. A análise comparativa do impacto ambiental dos manejos Biológico, Convencional e Integrado revelou padrões distintos, que podem ser explicados por suas práticas específicas, embora a análise estatística tenha indicado que as diferenças não são significativas.

O manejo Convencional demonstrou o menor consumo de água, pois nos manejos Biológico e Integrado, além de se realizar mais aplicações, utiliza-se maior volume de água em sua produção. Na análise de escassez de recursos fósseis e aquecimento global, o manejo Convencional apresentou o maior impacto nessas categorias. Isso se deve, provavelmente, à alta dependência de insumos derivados do petróleo, como fertilizantes nitrogenados sintéticos e pesticidas. Em contraste, o manejo Biológico gerou o menor impacto por ser menos dependente de insumos sintéticos e processos industrializados, utilizando práticas que promovem a fertilidade do solo de forma natural. O manejo Integrado ficou em uma posição intermediária, refletindo o uso combinado de práticas biológicas e químicas.

Na categoria ecotoxicidade de água doce, o manejo Biológico teve consistentemente o menor impacto, o que pode ser atribuído à não utilização de agrotóxicos sintéticos. Os impactos mais elevados no manejo Integrado e

Convencional nas safras 22/23 e 23/24, respectivamente, sugerem que o uso de agrotóxicos é um fator direto na contaminação dos corpos d'água.

A categoria ecotoxicidade terrestre, apresentou maior variabilidade. O manejo Integrado teve o maior impacto nas duas primeiras safras, o que pode estar relacionado a uma combinação específica de insumos biológicos e químicos que, juntos, podem ter um efeito sinérgico negativo no solo.

No manejo biológico, o impacto na ecotoxicidade terrestre foi o maior na safra 24/25. Isso pode ser resultado da forma como o software SimaPro, usado para a análise, interpreta a composição de certos bioinsumos. O *software* pode ter classificado alguma substância presente nesses produtos biológicos como um potencial contaminante para o solo, mesmo que, na prática, essa substância seja considerada inofensiva ou até benéfica em contextos agrícolas. Essa análise ressalta que a avaliação de impacto ambiental pode variar dependendo do modelo e dos dados utilizados, e que a natureza dos bioinsumos ainda é um campo de pesquisa em constante evolução.

As médias de produtividade obtidas, foram submetidas aos testes de normalidade e homoscedasticidade, e depois submetidas à análise de variância. Na presença de efeito significativo, foi aplicado o teste de Tukey, a 5% de probabilidade considerando, para tanto, efeito significativo ($p < 0.05$) na análise de variância. As análises estatísticas foram feitas utilizando o *Software R*®.

Apesar das variações observadas, a análise de variância (ANOVA) com um p-valor de 0.7928599 demonstrou que as diferenças entre os manejos não são estatisticamente significativas. Isso significa que, do ponto de vista estatístico, as variações numéricas na tabela podem ser consideradas aleatórias, e não é possível afirmar que um manejo é superior ou inferior aos outros em termos de impacto ambiental geral.

A Tabela 7, apresenta os resultados médios dos impactos ambientais de três tipos de manejo calculados com base nas três safras analisadas. Esses dados oferecem uma visão geral e consolidada do desempenho ambiental de cada sistema de produção, permitindo uma comparação direta das suas pegadas ecológicas em diversas categorias de impacto.

Tabela 7. Impacto ambiental dos manejos: Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional, média das três safras.

<i>Impact category</i>	Unit	Biológico <i>On Farm</i>	Convencional	Integrado
<i>Global warming</i>	kg CO2 eq	0,004520456	0,009398554	0,007465916
<i>Terrestrial acidification</i>	kg SO2 eq	1,66845E-05	2,90483E-05	2,45102E-05
<i>Freshwater eutrophication</i>	kg P eq	9,45282E-07	4,89869E-06	2,8862E-06
<i>Terrestrial ecotoxicity</i>	kg 1,4-DCB	0,086038968	0,073465877	0,090088978
<i>Freshwater ecotoxicity</i>	kg 1,4-DCB	0,000413384	0,000587347	0,000593655
<i>Fossil resource scarcity</i>	kg oil eq	0,001175703	0,002897941	0,002138706
<i>Water consumption</i>	m3	0,000345943	0,000217039	0,000341115

Fonte: Resultados da pesquisa.

Os resultados médios demonstram que o manejo Biológico se destaca por apresentar o menor impacto em diversas categorias, incluindo aquecimento global, acidificação terrestre, eutrofização de água doce e escassez de recursos fósseis. Essa superioridade sugere que a substituição de insumos sintéticos por produtos biológicos reduz significativamente a pegada de carbono e a dependência de recursos não renováveis.

Em contraste, o manejo Convencional consistentemente apresentou o maior impacto na maioria das categorias, reforçando que suas práticas, que dependem fortemente de insumos químicos, geram uma pressão ambiental mais elevada. Por fim, o manejo Integrado manteve uma posição intermediária, com impactos menores do que o manejo Convencional, mas sem alcançar os níveis de sustentabilidade do sistema biológico.

4.2. Avaliação econômica dos manejos de pragas e doenças na soja

A análise econômica foi realizada contemplando as três safras e a média de produtividade e custos dos manejos nos três anos analisados (Tabela 8). Os valores foram convertidos em saca de soja, conforme valores praticados na compra dos insumos e venda da produção.

Tabela 8. Receitas e despesas em sacas de soja, dos manejos: Biológico *On Farm*, Manejo Integrado e Manejo Convencional, média das três safras.

	Safra	Biológico	Químico	Integrado
Receita em sc	22/23	65,00	75,00	71,00
Despesa em sc		0,91	4,08	1,96
Saldo		64,09	70,92	69,04
Receita em sc	23/24	39,00	47,00	46,00

Continua...

Despesa em sc		1,68	6,03	3,62
Saldo		37,32	40,97	42,38
Receita em sc		60,00	62,00	69,00
Despesa em sc	24/25	1,06	4,70	2,19
Saldo		58,94	57,30	66,81
Média das três safras				
		Biológico	Químico	Integrado
Receita em sc		54,67	61,33	62,00
Despesa em sc		1,22	4,94	2,59
Saldo		53,45	56,39	59,41

Fonte: Resultados da pesquisa.

O Manejo Integrado teve o maior saldo médio nas três safras (59,41 sc/ha). O Manejo Convencional ficou em segundo lugar (56,39 sc/ha). O Manejo Biológico *On Farm* teve o menor saldo médio (53,45 sc/ha), apesar dos custos mais baixos.

O Manejo Convencional teve a maior despesa média (4,94 sacas por hectare), indicando alto custo com insumos químicos. O Manejo Biológico teve a menor despesa média (1,22 sacas), evidenciando a economia em insumos. E, o Manejo Integrado apresentou um custo intermediário (2,59 sacas), confirmando seu equilíbrio entre práticas biológicas e químicas.

Analisando a receita, o Manejo Integrado teve a maior receita média (62,00 sacas). O Manejo Convencional ficou logo atrás (61,33 sacas). O Manejo Biológico apresentou a menor receita média (54,67 sacas). Na safra 23/24, houve uma redução geral nas receitas, a incidência de pragas foi elevada, foram realizadas mais aplicações nos três manejos, porém as condições climáticas prejudicaram o controle das pragas e desenvolvimento da cultura, este ano foi penalizado com chuvas abaixo da média para o período de enchimento de grão, além de vários dias seguidos de temperaturas acima de 38°C.

5. CONCLUSÕES

A análise comparativa dos manejos Biológico *On Farm*, Convencional e Integrado demonstrou que, embora as diferenças de impacto ambiental não tenham sido estatisticamente significativas, os padrões observados oferecem importantes reflexões sobre a sustentabilidade e viabilidade econômica dos sistemas agrícolas.

O manejo Convencional, mostrou-se eficaz em gerar alta receita, mas seus altos custos de produção, associados aos altos preços de aquisição dos agrotóxicos, comprometeram sua competitividade. Adicionalmente, este manejo apresentou

consistentemente o maior impacto ambiental na maioria das categorias avaliadas, o que levanta sérias preocupações quanto à sua sustentabilidade a longo prazo.

Em contrapartida, o manejo Biológico *On Farm*, destacou-se por apresentar os menores impactos ambientais, com menor oscilação e custos de produção mais baixos. No entanto, sua receita inferior impactou negativamente a rentabilidade final, sugerindo que, apesar de ser ecologicamente superior, este manejo pode enfrentar desafios de viabilidade econômica se não for acompanhado de um mercado que remunere seus produtos de forma diferenciada.

O manejo Integrado apresentou-se como a opção mais promissora. Ele não apenas foi o mais estável e rentável economicamente, combinando uma boa receita com custos controlados, mas também apresentou um desempenho ambiental intermediário, melhor do que o Convencional na maioria das categorias. Isso indica que a integração de práticas biológicas e químicas pode ser uma estratégia viável para reduzir a dependência de insumos sintéticos sem comprometer a produtividade e a rentabilidade.

O objetivo da pesquisa, que era avaliar o desempenho ambiental e econômico dos diferentes manejos, foi plenamente atendido. Os dados permitiram a identificação clara dos benefícios e limitações de cada sistema de produção, fornecendo uma base sólida para a tomada de decisão por produtores e formuladores de políticas.

Os resultados sugerem que, para promover a sustentabilidade na agricultura, é essencial incentivar a transição para sistemas de produção que reduzam a dependência de insumos convencionais. Nesse contexto, o manejo integrado se configura como uma solução de transição viável. Recomendam-se as seguintes políticas públicas: Incentivos fiscais e subsídios para a adoção de práticas agrícolas integradas e biológicas. Programas de capacitação técnica que ensinem produtores a implementar de forma eficaz a gestão integrada de pragas e doenças, otimizando o uso de insumos. Desenvolvimento de mercados que valorizem produtos oriundos de manejos sustentáveis, como o Integrado e o Biológico, através de selos de certificação.

Este estudo, apesar de fornecer dados valiosos, apresenta algumas limitações. A falta de significância estatística pode ser atribuída à variabilidade inerente aos sistemas biológicos e às condições de campo, sugerindo a necessidade de estudos de longo prazo e com um número maior de repetições. Além disso, a análise de impacto ambiental foi baseada em modelos que podem ter interpretado certos

bioinsumos como contaminantes, o que ressalta a importância de desenvolver indicadores de impacto específicos para a agricultura biológica. Futuros estudos devem focar na análise de impactos sociais e na quantificação detalhada dos benefícios da saúde do solo em cada manejo, para uma avaliação ainda mais completa da sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, A. S.; et al. Análise de risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas por pesticidas em municípios do Alto Paranaíba-MG. *Química Nova*, v. 34, p. 1129-1135, 2011.
- BALE, J. S.; VAN-LENTEREN, J. C.; BIGLER, F. Biological control and sustainable food production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, v. 363, p. 761-776, 2008.
- BETTIOL, W. Situação do controle biológico no Brasil. 2022. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1149773/1/AA-BettioIW-COBIAGRI-2022.pdf>> Acesso em: 02 out. 2024.
- BUENO A.F.; et al. Desafios para adoção do Manejo Integrado de Pragas (MIP): o exemplo da soja. *Neotrop Entomol.* 2021. Disponível e <<https://doi.org/10.1007/s13744-020-00792-9>> Acesso em 06 out. 2024.
- CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. Relatório: Cadeia da Soja e Biodiesel - 2º trimestre de 2024. Disponível em <<https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Relat%C3%B3rio%20-%20Cadeia%20da%20Soja%20e%20biodiesel%20-%20T2024.pdf>> Acesso em: 03 nov. 2024.
- CIAMBRONE, D. F. **Environmental life cycle analysis**. CRC Press, p.3, 2018.
- CONTE, O. et al. Resultados do manejo integrado de pragas da soja na safra 2014/15 no Paraná. 2015. Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1026198/1/doc361OL1.pdf>> Acesso em: 25 out. 2024.
- CROWTHER, T.W. et al. Biotic interactions mediate soil microbial feedbacks to climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 112, 7033–7038, 2015.
- CRUZ, L. F.; SIQUEIRA, T. de S. A exportação da soja brasileira e sua importância no PIB nacional. **XII FATECLOG-gestão da cadeia de suprimentos no agronegócio: desafios e oportunidades no contexto atual FATEC-Mogi das Cruzes/SP-Brasil**, v. 18, 2021. Disponível em <<https://fateclog.com.br/anais/2021/parte3/1077-1538-1-RV.pdf>> Acesso em 06 nov. 2024.
- CUNHA, B.A.; NEGREIROS, M.M.; ALVES, K.A; TORRES, J.P. Influência da época de semeadura na severidade de doenças foliares e na produtividade do milho safrinha. *Summa Phytopathologica*, v.45, n.4, p.424-427, 2019.
- DALLAGO, G.; SIMONETTI, A. P. M. M.; SANTIAGO, M. A. Uso de bio-inseticidas multiplicado “on farm” e sua influência em parâmetros produtivos do feijoeiro. *Anais do City Farm*, v. 1, n. 1, 2022.

DAYLAN, B.; CILIZ, N. Life cycle assessment and environmental life cycle costing analysis of lignocellulosic bioethanol as an alternative transportation fuel. **Renewable Energy**, v. 89, p. 578-587, 2016.

DE SILVA, Nimali I. et al. Use of endophytes as biocontrol agents. **Fungal Biology Reviews**, v. 33, n. 2, p. 133-148, 2019.

DUTRA, Rodrigo Marciel Soares; SOUZA, Murilo Mendonça Oliveira de. Cerrado, revolução verde e evolução do consumo de agrotóxicos. **Sociedade & Natureza**, v. 29, p. 473-488, 2022.

EUROPEAN COMMISSION. Farm to Fork Strategy. For a Fair, Healthy and Environmentally-Friendly Food System. Disponível em <https://ec.europa.eu/food/system/files/2020-05/f2f_action-plan_2020_strategy-info_en.pdf> Acesso em: 25 set. 2024.

FALCONE, G. et al. Assessment of environmental and economic impacts of vine-growing combining life cycle assessment, life cycle costing and multicriterial analysis. **Sustainability**, v. 8, n. 8, p. 793, 2016.

FONTES, E. M. G.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle biológico de pragas da agricultura. Embrapa, Brasília-DF, 2020.

FRISVOLD, G. B. How low can you go? Estimating impacts of reduced pesticide use. **Pest Manag Sci**, v. 75, p.1223-1233, 2019.

GALZER, Elisângela; AZEVEDO FILHO, Wilson. Utilização do *Bacillus thuringiensis* no controle biológico de pragas. **Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 1, n. 1, p. 13-16, 2016.

LUCAS, K.R.G et al. Comparação do desempenho ambiental da soja em sistema convencional e em manejo integrado de pragas e de doenças (MIP-MID) por meio da metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV). **Congresso Brasileiro sobre Gestão do Ciclo de Vida**, 6. Anais... Brasília, DF: Ibict, 2018. Disponível em <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1103029>> Acesso em: 06 nov. 2024.

HUNKELER, D.; LICHTENVORT, K.; REBITZER, G. **Environmental life cycle costing**. Crc press, 2008.

HUSSAIN, S. et al. Impact of pesticides on soil microbial diversity, enzymes, and biochemical reactions. *Adv. Agron.*, 102, 159–200, 2009.

ISO/TC 207 14040:2006: Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

ISO/TC 207 14044:2006: Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines.

KOLEVA, N. G.; MCCARL, B. A.; SCHNEIDER, U. A. Pesticide externalities from the US agricultural sector: The impact of internalization, reduced pesticide application

rates, and climate change. Uni., Forschungsstelle Nachhaltige Umweltentwicklung, 2009.

KUHN, T. et al. Using a bio-economic farm model to evaluate the economic potential and pesticide load reduction of the greenRelease technology. **Agricultural Systems**, v. 201, p. 103454, 2022.

LONGO, S. et al. Life Cycle Assessment of organic and conventional apple supply chains in the North of Italy. **Journal of Cleaner Production**, v. 140, p. 654-663, 2017.

MARTINEZ-SANCHEZ, V., KROMANN, M. A. & ASTRUP, T. F. Life cycle costing of waste management systems: overview, calculation principles and case studies. **Waste Management**, 36, p. 343–355. 2015.

MEIER, M. S. et al. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products—Are the differences captured by life cycle assessment?. **Journal of environmental management**, v. 149, p. 193-208, 2015.

PARRA, José Roberto Postali et al. **Controle biológico com parasitoides e predadores na agricultura brasileira**. Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 2024.

PRETTY, J., BHARUCHA, Z.P. Integrated pest management for sustainable intensification of agriculture in Asia and Africa. **Insects**, 6, 152–182, 2015.

RODRIGUES, L. C. C. Impactos socioeconômicos do uso de agrotóxicos no Brasil. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Economia Rural, 2022. DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.752>.

ROY, P. et al. A review of life cycle assessment (LCA) on some food products. **Journal of food engineering**, v. 90, n. 1, p. 1-10, 2009.

SILVA, N. D. B. As externalidades negativas do uso de agrotóxicos e a qualidade de vida no trabalho: o caso dos produtores de morango do Assentamento Betinho—DF. 2017. Dissertação. (Mestrado em Agronegócios) -Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

SUN, S.; ZHANG, C.; HU, R. Determinants and overuse of pesticides in grain production: a comparison of rice, maize and wheat in China. **China Agricultural Economic Review**, v. 12, n. 2, p. 367-379, 2020.

TIMONEN, K. et al. Environmental cost accounting methodologies. 2017.

VASCONCELOS, Y. Agrotóxicos na berlinda. Pesquisa FAPESP, set. 2018. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/agrotoxicos-na-berlinda/>> Acesso em: 25 Set de 2024.

CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese partiu da pergunta central sobre a relação custo-benefício do Controle Biológico On Farm no manejo das pragas e doenças na cultura da soja. A hipótese inicial de que o manejo com controle biológico seria o mais vantajoso em termos de custo-benefício foi parcialmente validada. No entanto, a análise aprofundada nos três artigos (capítulos 2, 3 e 4) demonstrou uma complexidade maior, levando à conclusão de que o Manejo Integrado se estabeleceu como a estratégia mais promissora, tanto do ponto de vista econômico quanto ambiental, superando o manejo biológico em viabilidade global e o convencional em sustentabilidade.

O primeiro artigo (Capítulo 2) sobre a Viabilidade Econômica e custo de oportunidade de unidades de multiplicação de microrganismos On Farm para o manejo de pragas da Soja no Brasil, revelou que a produção desses insumos é financeiramente atrativa, com retornos significativos para diferentes perfis de produtores, reforçando o potencial dessa prática.

O segundo artigo (Capítulo 3), por meio da análise de custo-benefício, foi crucial para contextualizar a eficiência agrônômica dos manejos. Os resultados de três safras mostraram que o Manejo Integrado proporcionou a maior receita líquida, superando o manejo biológico e o convencional. Essa descoberta valida a hipótese de que a combinação de intervenções químicas pontuais e a aplicação de biológicos resulta em um equilíbrio ideal entre produtividade e custo.

O terceiro artigo (Capítulo 4), que utilizou a Análise do Ciclo de Vida (ACV), complementou a análise econômica ao quantificar os impactos ambientais de cada manejo. Ficou evidente que, embora o manejo com controle biológico On Farm gere menos impactos ambientais, sua menor produtividade compromete a sustentabilidade econômica. Por outro lado, o Manejo Convencional, embora atinja altas produtividades, acarreta um alto custo ambiental, com os piores impactos na maioria das categorias avaliadas.

O Manejo Integrado se destacou novamente, demonstrando ser uma estratégia superior por reduzir o consumo de produtos químicos e, ao mesmo tempo, manter as altas produtividades. Essa abordagem está diretamente alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas, em especial o ODS 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e ODS 15 (Vida Terrestre). Ao promover práticas agrícolas

mais sustentáveis, este estudo contribui para a segurança alimentar, a redução da poluição e a conservação da biodiversidade.

A partir dos resultados e conclusões, é possível sugerir políticas públicas que incentivem a adoção do Manejo Integrado no agronegócio, impulsionando a transição para uma agricultura mais resiliente e sustentável. Dentre as sugestões estão: i) Incentivos econômicos e de financiamento: Criação de linhas de crédito facilitadas e programas de subvenção para que os produtores possam instalar suas próprias biofábricas On Farm, reduzindo a barreira de entrada do investimento inicial. ii) Capacitação e extensão rural: Fortalecimento dos programas de assistência técnica para capacitar produtores e técnicos no Manejo Integrado, com foco na correta identificação de pragas e doenças, na produção de bioinsumos com controle de qualidade e na aplicação estratégica de produtos químicos, apenas quando estritamente necessário. iii) Mecanismos de mercado: Criação de selos e certificações que reconheçam e valorizem produtos oriundos de manejos sustentáveis. Isso pode gerar um prêmio de preço para os produtores, incentivando a adoção dessas práticas. iv) Políticas climáticas: Reconhecer a redução nas emissões de GEE (Gases de Efeito Estufa) do Manejo Integrado, permitindo que produtores que adotam essa prática tenham acesso a mecanismos de remuneração por serviços ambientais ou ao mercado de créditos de carbono, uma vez que a menor dependência de combustíveis fósseis é um dos benefícios comprovados.

As limitações deste estudo incluem o período de três safras do experimento de campo, o tamanho da área de estudo e a falta de significância estatística em algumas análises ambientais. A ACV, embora robusta, pode subestimar os impactos positivos dos bioinsumos, interpretando-os como contaminantes. A adoção do controle biológico On Farm também exige um investimento inicial e conhecimento técnico que pode ser um obstáculo para pequenos e médios produtores, limitando a adoção em larga escala.

Para estudos futuros, sugere-se a continuidade do experimento de campo por mais safras e em diferentes localidades para validar os resultados em diversas condições de solo e climáticas. Além disso, propõe-se pesquisas que aprofundem as análises de ACV, desenvolvendo indicadores mais específicos para a agricultura biológica. Estudos sobre a viabilidade econômica do manejo biológico associado a prêmios de preço no mercado de carbono ou em nichos de mercado, bem como análises de impactos sociais e de saúde dos trabalhadores, seriam importantes para

complementar a visão holística sobre a sustentabilidade do agronegócio. Por fim, aprofundar a avaliação dos riscos técnicos de contaminação e a produção de bioinsumos On Farm em escala comercial é essencial para o avanço da pesquisa e da prática.