

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

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC LIFE CYCLE ASSESSMENT OF ON FARM BIOLOGICAL, INTEGRATED AND CONVENTIONAL MANAGEMENT IN SOYBEAN

Autor(es): Denise Wochner

Filiação: PPGAgronegócios - Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

E-mail: de_murakami@hotmail.com

Autor(es): Madalena Maria Schlindwein

Filiação: PPGAgronegócios - Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

E-mail: madalenaschlindwein@ufgd.edu.br

Autor(es): Rui Manuel de Sousa Fragoso

Filiação: Universidade de Évora – UÉ – Portugal

E-mail: rfragoso@uevora.pt

Autor(es): Clandio Favarini Ruviaro

Filiação: PPGAgronegócios - Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

E-mail: clandioruviaro@ufgd.edu.br

Grupo de Trabalho: (GT4) Questão ambiental, agroecologia e sustentabilidade

Resumo

Devido à sua importância econômica e industrial, a soja é um dos principais grãos produzidos mundialmente. No Brasil, o controle de pragas e doenças é essencial para garantir a produção, mas o uso intensivo de agroquímicos causa efeitos colaterais ambientais. Este estudo avaliou o desempenho ambiental e econômico dos manejos Biológico *On Farm*, Integrado e Convencional na cultura da soja, utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida. O inventário foi elaborado a partir de dados primários de um experimento de campo conduzido nas safras de Soja 2022/2023 a 2024/2025. A unidade funcional considerada foi de 1 hectare. A Avaliação do Ciclo de Vida CV foi realizada de acordo com as normas NBR ISO 14040 e NBR ISO 14044 e os impactos ambientais foram avaliados com o software SimaPro®. Os resultados indicaram que o Manejo Biológico apresentou menores impactos ambientais e custos, mas menor receita e rentabilidade. O Manejo Convencional obteve alta receita, mas altos custos e pior desempenho ambiental. O Manejo Integrado demonstrou maior estabilidade econômica, com alta produtividade, menor custo e menor impacto ambiental.

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

Abstract

Due to its economic and industrial importance, soybean is one of the main grains produced worldwide. In Brazil, pest and disease control is essential to ensure production, but the intensive use of agrochemicals causes environmental side effects. This study evaluated the environmental and economic performance of On Farm Biological, Integrated and Conventional management in soybean crops, using the Life Cycle Assessment. The inventory was prepared from primary data from a field experiment conducted in the 2022/2023 to 2024/2025 soybean harvests. The functional unit considered was 1 hectare. The CV Life Cycle Assessment was carried out in accordance with NBR ISO 14040 and NBR ISO 14044 standards and the environmental impacts were assessed with the SimaPro® software. The results indicated that Biological Management presented lower environmental impacts and costs, but lower revenue and profitability. Conventional Management obtained high revenue, but high costs and prior environmental performance. Integrated Management demonstrated greater economic stability, with high productivity, lower costs and less environmental impact.

Key words: *Environmental analysis; Bioeconomy; Environmental conservation; Sustainable production.*

1. Introdução

A soja é uma oleaginosa de grande importância mundial, representa 4,5% da economia do Brasil e 20,8% do Produto Interno Bruto (PIB) do agronegócio brasileiro (CEPEA, 2024). Seus grãos são ricos em proteína e óleo, utilizados na alimentação humana e animal, bem como na produção de biodiesel, plásticos e medicamentos, entre outros (Cruz; Siqueira, 2021). No entanto, a exploração intensiva em monoculturas pode causar danos ambientais, como a degradação do solo e a contaminação da água, caso não sejam adotadas práticas de manejo sustentáveis. O uso de agroquímicos é uma preocupação crescente da sociedade civil, que demanda padrões de produção agrícola mais 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 Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta sistemática para avaliar os impactos ambientais de produtos e serviços ao longo de 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).

No estudo realizado por Meier (2015), revisou-se 34 estudos comparativos de ACV de produtos agrícolas orgânicos e convencionais. O autor conclui que 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 que demonstrem a eficiência ambiental e econômica da soja produzida em diferentes manejos de pragas e doenças, este estudo se propõe a avaliar o Ciclo de Vida Ambiental e Econômico dos manejos Convencional, Integrado e Biológico On Farm. O objetivo é inventariar o processo de fabricação, os impactos dos ingredientes, a distribuição, o combustível utilizado e o descarte de embalagens dos produtos utilizados em um experimento de campo. Os resultados fornecerão informações transparentes para auxiliar produtores rurais na tomada de decisões sobre a adoção de manejos de pragas e doenças na cultura da soja. Este estudo contribui para a literatura ao avaliar os impactos econômicos e ambientais dos diferentes manejos em um experimento de campo em diferentes safras, e espera-se que possa estimular políticas públicas ligadas a métodos alternativos de manejo da soja.

Este artigo está estruturado da seguinte forma: a seção seguinte apresenta a revisão bibliográfica sobre agroquímicos, métodos alternativos e ACV; em seguida, são detalhados os materiais e métodos utilizados na pesquisa; posteriormente, são apresentados e discutidos os resultados obtidos; e, por fim, são apresentadas as conclusões do estudo.

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 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 e Bharucha, 2015).

Investigou-se 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. Contatou-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”, 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). 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, 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). 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 realização da Análise do Ciclo de Vida Ambiental e Econômico.

Etapa	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).

3. Materiais e métodos

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

Os dados primários foram coletados em um experimento de campo 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 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 na Tabela 2. A Tabela 2 está dividida conforme as Safras 2022/2023, 2023/2024 e a média das três safras.

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

Safr 22/23				
Entradas	Unidade	Biológico 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 triplice 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
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

Safra 23/24

Entradas	Unidade	Biológico 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 triplice 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
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

Safra 24/25

Entradas	Unidade	Biológico 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 triplice 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

Média das safras 22/23, 23/24 e 24/25

Entradas	Unidade	Biológico 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 triplice 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.

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 onde as aplicações são calendarizadas. Porém, nos manejos Químico e Integrado, é realizada a triplice 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 3, 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 3. Impacto ambiental dos manejos: Biológico On Farm, Integrado e Convencional nas Safras 22/23, 23/24 e 24/25.

Categoria de impacto	Unit	Safr 22/23			Safr 23/24			Safr 24/25		
		Bio ¹	Con ²	Int ³	Bio ¹	Con ²	Int ³	Bio ¹	Con ²	Int ³
Consumo de água	m3	0,00029189	0,00015906	0,00029533	0,00062678	0,0003401	0,00059475	0,00022176	0,00019275	0,00021711
Escassez de recursos fósseis	kg oil eq	0,00099199	0,00211385	0,00181418	0,00212759	0,00439617	0,00378587	0,00075891	0,00256289	0,00135745
Ecotoxicidade de água doce	kg 1,4-DCB	0,00034879	0,00042825	0,00050696	0,00076339	0,00090012	0,00105875	0,00025617	0,00051921	0,00036846
Ecotoxicidade terrestre	kg 1,4-DCB	0,07259483	0,05393137	0,07784989	0,15472996	0,10149381	0,15598084	0,05616969	0,06538294	0,0582532
Eutrofização de água doce	kg P eq	7,9758E-07	3,5682E-06	2,4229E-06	1,7033E-06	7,6043E-06	5,1495E-06	6,1508E-07	4,3261E-06	1,8271E-06
Acidificação terrestre	kg SO2 eq	1,4077E-05	2,1221E-05	2,0917E-05	3,0091E-05	4,3052E-05	4,3061E-05	1,0839E-05	2,5729E-05	1,5664E-05
Aquecimento global	kg CO2 eq	0,00381411	0,00685806	0,00634939	0,00819821	0,01418118	0,01320212	0,00290551	0,00831486	0,00473341

Legenda: ¹Biológico On Farm, ²Covencional, ³Integrado.

Fonte: Elaboração própria.

Na Tabela 4, são apresentados os resultados dos impactos utilizando as médias das três safras. 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®. A conclusão é de que: Não há diferença estatisticamente significativa entre os tratamentos ($p \geq 0.05$). P-valor da ANOVA: 0.7928599.

Tabela 4. Impacto ambiental dos manejos: Biológico On Farm, Integrado e Convencional, média das três safras.

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

Fonte: Elaboração própria.

Os resultados demonstram que o Controle Biológico On Farm tem desempenho claramente melhor para aquecimento global, eutrofização de água doce, escassez de recursos fósseis e acidificação terrestre, indicando que a substituição de insumos sintéticos por biológicos reduz significativamente esses impactos.

O manejo Convencional tem os piores resultados, com maior impacto na maioria das categorias. E, o manejo Integrado, tem impactos intermediários, com alguns impactos mais baixos que o Convencional, mas ainda não tão sustentáveis quanto o 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 5). Os valores foram convertidos em saca de soja, conforme valores praticados na compra dos insumos e venda da produção.

Tabela 5. 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
Despesa em sc		1,68	6,03	3,62
Saldo		37,32	40,97	42,38
Receita em sc	24/25	60,00	62,00	69,00
Despesa em sc		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. O Manejo Convencional ficou em segundo lugar. O Manejo Biológico *On Farm* teve o menor saldo médio, 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.

5. Conclusões

O Manejo Biológico *On Farm*, apresentou os menores impactos ambientais avaliados, teve menor oscilação e menores custos, porém, sua receita foi menor, impactando a rentabilidade final.

O Manejo Convencional gerou boa receita, mas seus altos custos reduziram sua competitividade frente ao Integrado. Este manejo, apesar de apresentar bons resultados de produtividade, foi o que apresentou o pior desempenho ambiental na maioria das categorias avaliadas.

O Manejo Integrado foi o mais estável e rentável em média, pois combinou uma boa receita com custos mais controlados. Além dos ótimos resultados econômicos, o Manejo Integrado apresentou bom desempenho ambiental, demonstrando que é possível reduzir a utilização dos insumos químicos e manter alta produtividade.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. E ao Programa de Pós Graduação em Agronegócios da Universidade Federal da Grande Dourados.

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 em <<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.