

Revista Mirante, Anápolis (GO), v. 18, n. 3, p. 110-130, dez. 2025. ISSN 1981-4089

O USO DE BIOINSUMOS NA AGRICULTURA BRASILEIRA: UMA REVISÃO SOBRE IMPACTOS AMBIENTAIS E ECONÔMICOS

THE USE OF BIO-INPUTS IN BRAZILIAN AGRICULTURE: A REVIEW OF ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC IMPACTS

DENNIS RICARDO CABRAL CRUZ

Doutor e Docente do Curso de Agronomia da UEG – Universidade Estadual de Goiás /
UnU Posse (Posse/GO)
dennis.cruz@ueg.br

FENELON LOURENÇO DE SOUSA SANTOS

Doutor e Docente do Curso de Agronomia da UEG – Universidade Estadual de Goiás /
UnU Posse (Posse/GO)
fenelon.santos@ueg.br

DANILO DE SOUZA SANCHES

Doutor e Docente do Curso de Agronomia da UEG – Universidade Estadual de Goiás /
UnU Posse (Posse/GO)
danilo.sanches@ueg.br

Resumo: Este artigo apresenta uma revisão crítica sobre o uso de bioinsumos na agricultura brasileira, com ênfase em seus impactos ambientais, econômicos e políticos. A partir da análise de estudos recentes, destaca-se o potencial da megabiodiversidade brasileira na promoção do crescimento vegetal, solubilização de nutrientes e controle biológico de patógenos. Os resultados evidenciam melhorias na saúde do solo, aumento da produtividade e redução do uso de fertilizantes e defensivos sintéticos. No aspecto econômico, observam-se reduções nos custos de produção e aumento da rentabilidade agrícola, especialmente em propriedades de pequeno e médio porte. A adoção de bioinsumos ainda enfrenta desafios regulatórios, técnicos e culturais, que limitam sua expansão em larga escala. O Programa Nacional de Bioinsumos, instituído em 2020, tem promovido avanços na regulamentação, pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor. Conclui-se que, a ampliação do uso de bioinsumos requer políticas públicas estáveis, incentivos financeiros, assistência técnica especializada e validação regional das formulações. Tais medidas são essenciais para consolidar uma agricultura nacional sustentável, resiliente e menos dependente de insumos importados.

Palavras-chave: sustentabilidade, microrganismos, economia, meio ambiente.

Abstract: This article presents a critical review of the use of bio-inputs in Brazilian agriculture, with an emphasis on their environmental, economic, and political impacts. Based on the analysis of recent studies, it highlights the potential of Brazil's megabiodiversity in promoting plant growth, nutrient solubilization, and biological control of pathogens. The results show improvements in soil health, increased productivity, and a reduction in the use of synthetic fertilizers and pesticides. From an economic perspective, reductions in production costs and increased agricultural profitability are observed, especially on small and medium-sized farms. However, the adoption of bio-inputs still faces regulatory, technical, and cultural challenges that limit their large-scale expansion. The National Bio-inputs Program, established in 2020, has promoted progress in regulation, research, and technological development in the sector. It is concluded

that expanding the use of bio-inputs requires stable public policies, financial incentives, specialized technical assistance, and regional validation of formulations. Such measures are essential to consolidate a sustainable, resilient national agriculture that is less dependent on imported inputs.

Keywords: sustainability, microorganisms, economy, environment.

Introdução

A agricultura brasileira ocupa posição de destaque no cenário mundial, sendo um dos maiores produtores e exportadores de alimentos, fibras e bioenergia. A intensificação agrícola baseada no uso de insumos sintéticos tem gerado diversos impactos negativos ao meio ambiente, como a contaminação do solo e da água, além da degradação da biodiversidade (Vidal et al., 2021). Desde o surgimento da agricultura até os dias atuais, os avanços no conhecimento e na tecnologia possibilitaram melhorias na qualidade dos produtos, no rendimento das colheitas, na eficiência dos sistemas produtivos e na redução da necessidade de mão de obra (Cruz et al., 2024). Nesse contexto, os bioinsumos — produtos desenvolvidos a partir de microrganismos, extratos vegetais, compostos orgânicos e outros agentes biológicos — têm ganhado relevância como alternativa aos insumos sintéticos convencionais (Monteiro et al., 2024). Tecnologias como o biochar também se destacam por sua capacidade de melhorar atributos físico-químicos do solo e contribuir para o sequestro de carbono.

A utilização de bioinsumos pode contribuir para a redução da poluição ambiental, melhoria da saúde do solo e aumento da resiliência das lavouras, promovendo uma agricultura de base ecológica e menos dependente de recursos não renováveis. Além disso, esses insumos representam uma estratégia econômica importante, especialmente em um cenário de instabilidade no mercado internacional de fertilizantes, intensificado a partir de 2022 (Cruz et al., 2025). A adoção de bioinsumos está alinhada às diretrizes de agricultura sustentável e regenerativa, promovendo ganhos ambientais e produtivos. Conforme Vidal et al., 2021, políticas públicas recentes têm incentivado o uso desses insumos como estratégia para reduzir a dependência de importação de fertilizantes e melhorar a segurança alimentar.

Desta forma, os bioinsumos surgem como alternativa sustentável, promovendo o uso de agentes biológicos no manejo de pragas, doenças e na nutrição das plantas. O Brasil tem demonstrado interesse crescente por práticas agroecológicas, principalmente após a instituição do Programa Nacional de Bioinsumos, que visa fomentar o desenvolvimento e a utilização desses produtos (Silva et al., 2024). A expansão do setor está vinculada não apenas às preocupações ambientais, mas também a fatores econômicos, visto que, os bioinsumos podem contribuir para a redução de custos na aquisição de fertilizantes e defensivos convencionais. Além disso, há uma valorização crescente do consumidor por alimentos mais saudáveis e sustentáveis, o que também estimula sua adoção.

Diante desse cenário, o presente artigo de revisão apresenta uma visão geral de informações estabelecidas sobre os impactos ambientais e econômicos do uso de bioinsumos na agricultura brasileira, destacando seus benefícios, desafios e perspectivas futuras. O objetivo dessa revisão é reunir, analisar e sintetizar os resultados de pesquisas anteriores sobre um tema específico, proporcionando uma compreensão abrangente do estado atual do conhecimento científico. A análise busca contribuir com o debate sobre a transição para modelos de produção mais sustentáveis e tecnologicamente integrados.

Metodologia

Esta pesquisa configura-se como uma revisão integrativa da literatura, com abordagem qualitativa e natureza descritivo-analítica. Trata-se, portanto, de uma estratégia metodológica adequada para mapear os impactos ambientais e econômicos do uso de bioinsumos na agricultura brasileira. Dessa maneira, busca-se oferecer uma compreensão abrangente que subsidie futuras discussões e decisões no âmbito da agricultura sustentável.

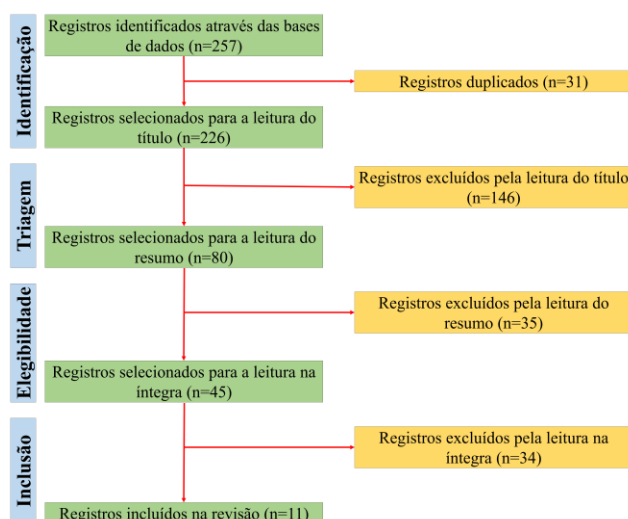
A seleção das fontes foi realizada por meio de buscas sistemáticas em bases de dados reconhecidas por sua relevância acadêmica e científica, tais como Scopus, Web of Science, SciELO e Google Scholar. As buscas foram realizadas em português e em inglês, utilizando descritores

como: "bioinsumos", "impactos ambientais", "impactos econômicos", "agricultura sustentável", "microrganismos benéficos" e "bioinsumos no Brasil" (português); e suas correspondentes em inglês: "bioinputs", "environmental impacts", "economic impacts", "sustainable agriculture", "beneficial microorganisms" e "bioinputs in Brazil".

Os critérios de inclusão adotados abrangeram artigos científicos publicados entre os anos de 2020 e 2025, desde que abordassem diretamente os impactos da utilização de bioinsumos no contexto da agricultura brasileira. Foram priorizadas fontes com rigor metodológico e relevância para a compreensão das implicações ambientais e econômicas do tema. Publicações duplicadas, com escopo divergente ou sem acesso ao texto completo foram excluídas do corpo final.

Ao todo, foram analisadas 257 publicações, das quais 11 foram consideradas relevantes e incorporadas à discussão por atenderem aos critérios estabelecidos e contribuírem de forma significativa para os objetivos do estudo (Figura 1). Essa estruturação permitiu uma leitura crítica e comparativa dos resultados encontrados na literatura, facilitando a identificação de convergências, lacunas e perspectivas futuras. Essa abordagem metodológica assegura a consistência e a profundidade da análise, permitindo a construção de um panorama crítico e fundamentado sobre os impactos dos bioinsumos na agricultura brasileira.

Figura 1. Fluxograma contendo as etapas da revisão de literatura deste estudo.



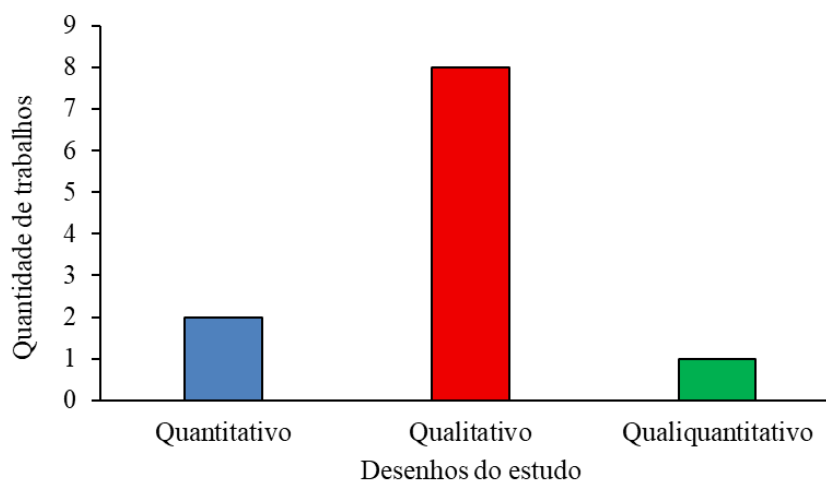
Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Resultados e discussão

Levantamento bibliográfico

A crescente demanda global por alimentos e a intensificação dos impactos das mudanças climáticas pressionam os sistemas agrícolas a buscarem modelos produtivos mais sustentáveis. Nesse contexto, o desenvolvimento e a adoção de bioinsumos surgem como um elemento estratégico para conciliar produtividade, conservação ambiental e viabilidade econômica. No Brasil, os bioinsumos têm recebido destaque devido à rica biodiversidade nacional e à sólida infraestrutura de pesquisa agropecuária. A literatura analisada compreende onze estudos publicados entre 2021 e 2025. Destes, oito adotam abordagem qualitativa, dois quantitativa e um quali-quantitativa, evidenciando a predominância de análises exploratórias sobre políticas, percepções e potenciais de mercado (Figura 2).

Figura 2. Distribuição dos artigos por abordagem metodológica.



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

Os raros ensaios experimentais quantitativos reforçam a necessidade de dados empíricos que validem benefícios relatados. Esta revisão prioriza uma análise integrada dos impactos ambientais e econômicos reportados, onde evidenciou-se os principais trabalhos utilizados listando seus autores, desenho dos estudos, títulos do artigo, objetivos e principais resultados (Tabela 1).

Os trabalhos escolhidos abordam diferentes aspectos dos bioinsumos na agricultura brasileira, desde suas bases científicas e tecnológicas até os impactos ambientais e econômicos. Essa diversidade metodológica permite uma visão abrangente do tema, integrando dados empíricos e análises teóricas que fundamentam as discussões subsequentes sobre os benefícios, desafios e perspectivas dos bioinsumos no contexto agroecológico e político do país.

Tabela 1. Resumo dos estudos analisados.

Autores	Desenho do Estudo	Título do artigo	Objetivo do Estudo	Principais Resultados
Vidal et al. (2021)	Estudo Qualitativo	Bioinsumos: a construção de um Programa Nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro	Relatar a trajetória de formulação do Programa Nacional de Bioinsumos, destacando como políticas públicas e ações governamentais fomentaram um novo espaço de debate e inovação voltado ao uso de bioinsumos na agricultura brasileira.	O Brasil se posiciona como protagonista na chamada "terceira onda do agro", com grande potencial para liderar a transição global rumo a modelos agrícolas mais sustentáveis, desde que haja apoio político e investimentos contínuos.
Silva et al. (2022)	Estudo Qualitativo	Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura	O objetivo do trabalho foi trazer informações referentes aos microrganismos multifuncionais priorizando os aspectos gerais, as características dos microrganismos (rizobactérias e fungos) promotores do crescimento vegetal e seus principais mecanismos de ação	Diante da pressão do crescimento populacional e da demanda por alimentos, os avanços tecnológicos impulsionam a agricultura, mas geram desafios à sustentabilidade, enquanto os bioinsumos surgem como soluções promissoras por aliarem aumento da produtividade à preservação do equilíbrio do agroecossistema.

Vidal e Dias (2023)	Estudo Qualitativo	Bioinsumos a partir das contribuições da Agroecologia	Este artigo objetiva fornecer subsídios para o debate dos bioinsumos a partir da contribuição da agroecologia	A busca por bioinsumos, especialmente em grandes culturas como soja e milho, deve-se à sua eficiência no manejo e à capacidade de superar limitações dos métodos químicos tradicionais.
Cruz et al. (2023)	Estudo Quantitativo	Utilização de microrganismos multifuncionais na cultura do milho	Determinar os efeitos de microrganismos multifuncionais, isoladamente ou em combinação, na produção de biomassa da parte aérea, raiz e total, nas trocas gasosas, no teor de macronutrientes, componentes de produção e produtividade de grãos de plantas de milho.	Os microrganismos aplicados isoladamente ou em combinação promoveram incrementos significativos de 49% na biomassa das plantas de milho, 30% nas trocas gasosas, 36% no teor de macronutrientes e 33% na produtividade.
Silva et al. (2024)	Estudo Qualitativo	Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens	Explorar a compreensão sobre o uso, vantagens e desvantagens dos bioinsumos, buscando ampliar a compreensão quanto ao conceito, tipos, características, evolução de uso ao longo do tempo e às instituições de pesquisa e empresas que lideram o desenvolvimento desses recentes insumos agrícolas	Os bioinsumos representam uma alternativa sustentável e eficiente para a agricultura, ao promoverem a saúde do solo, reduzirem a dependência de insumos químicos e fortalecerem a bioeconomia com benefícios ambientais, sociais e econômicos.
Cruz et al. (2024)	Estudo Qualitativo	Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo	Este trabalho visa reunir e sistematizar o conhecimento sobre bactérias solubilizadoras de fósforo (PSMs) na agricultura, a fim de subsidiar pesquisas e práticas sustentáveis de manejo do solo.	Atualmente, o uso de bioinsumos na agricultura destaca-se como estratégia biotecnológica sustentável ao promover o crescimento vegetal, induzir tolerância a doenças, solubilizar minerais no solo e reduzir o uso de insumos e os custos de produção.

Monteiro et al. (2024)	Estudo Qualitativo	Práticas sustentáveis na agricultura brasileira e mundial no século XXI	O objetivo desta revisão de literatura é apresentar informações sobre algumas técnicas agrícolas contemporâneas usadas no Brasil e no mundo que promovem a sustentabilidade no século XXI.	O progresso científico na área de inoculantes microbianos tem despertado crescente interesse no setor agrônomo, uma vez que tais biotecnologias oferecem potencial para elevar a produtividade das culturas, otimizar os custos de produção e reduzir os impactos ambientais associados à agricultura convencional.
Santos, Oliveira e Putti (2024)	Estudo Qualitativo	Bioinsumos na agricultura: panorama tecnológico das patentes biológicas	O objetivo deste trabalho foi quantificar os registros de patentes relacionados a bioinsumos no Brasil, com base nas plataformas INPI, Espacenet e WIPO, e verificar sua correlação com o aumento da produtividade agrícola.	Instituído em 2020, o Programa Nacional de Bioinsumos impulsionou a inovação e o aumento de patentes, refletindo a crescente adoção de bioinsumos na agricultura, com impactos positivos na produtividade e na sustentabilidade das práticas agrícolas no Brasil.
Mira e Mira (2025)	Estudo Qualitativo	A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: uma revisão bibliográfica: Uma revisão bibliográfica.	Contribuir para o debate sobre modelos agrícolas sustentáveis, destacando a importância de políticas públicas, pesquisa e a conscientização dos envolvidos na cadeia produtiva.	Um campo promissor é a biotecnologia, que tem transformado os processos agrícolas por meio da engenharia genética e do uso de microrganismos na produção de bioinsumos.

Cruz et al. (2025)	Estudo Quantitativo	Soybean productivity and financial viability with rhizobacteria, farming systems, and phosphorus doses	Este estudo investiga práticas agrícolas sustentáveis por meio da integração de microrganismos multifuncionais e da diversificação de culturas no cultivo de soja.	Na prática agrícola, a disseminação dessas tecnologias deve ser acompanhada por treinamento técnico para os produtores, garantindo o manejo adequado e maximizando os benefícios desses microrganismos.
Basso et al. (2025)	Estudo Quali-quantitativo	Biofertilizantes e biochar: impactos sustentáveis e políticas públicas para a agricultura brasileira	Analisar os benefícios econômicos e ambientais dessas tecnologias e propor políticas públicas que facilitem sua adoção.	Os resultados evidenciam benefícios como a redução de custos com biofertilizantes locais e o uso do biochar no sequestro de carbono e na qualidade do solo, mas apontam que barreiras estruturais e burocráticas ainda limitam sua adoção, sendo essencial a implementação de políticas públicas integradas para que o Brasil assuma a liderança global em agricultura sustentável.

Fonte: Elaborado pelo autores (2024).

Recursos biológicos para bioinsumos

O uso de bioinsumos na agricultura tem sido objeto de crescente atenção nas últimas décadas, impulsionado tanto pela intensificação da produção quanto pelas exigências de sustentabilidade ambiental. No Brasil, o debate se fortalece em virtude da alta biodiversidade, das pressões por modelos produtivos menos impactantes e do potencial de inovação associado ao uso de microrganismos e compostos biológicos no manejo agrícola. Os bioinsumos englobam uma gama de produtos derivados de microrganismos, extratos vegetais, substâncias naturais e macroorganismos benéficos (Mazaro et al., 2022). Sua aplicação abrange desde inoculantes microbiológicos, como rizóbios e fungos micorrízicos, até biofertilizantes e agentes de biocontrole (Silva et al., 2024).

O Brasil destaca-se como o país mais megabiodiverso do planeta, abrigando entre 15% e 25% de todas as espécies vegetais conhecidas, distribuídas em biomas com alta taxa de endemismo (Vidal et al., 2021). Essa riqueza biológica constitui uma base estratégica para o desenvolvimento de bioinsumos agrícolas, com impactos ambientais geralmente positivos. Segundo Silva et al. (2022), a inoculação de gramíneas com *Azospirillum brasilense* contribui para a redução significativa da aplicação de nitrogênio sintético. De modo semelhante, a atuação de *Bacillus* spp. na solubilização de fósforo pode reduzir a dependência de fertilizantes fosfatados minerais.

Além do efeito nutricional, os bioinsumos apresentam potencial no controle biológico de patógenos. De acordo com Cruz et al. (2023), a aplicação de *Trichoderma* spp. e *Bacillus subtilis* tem demonstrado elevada eficácia no manejo de doenças, aliando desempenho agrônômico à segurança ambiental. Silva et al. (2024) reforçam que esses inoculantes também promovem maior eficiência no uso de nutrientes, resultando em incremento de produtividade e menor impacto ambiental.

Entretanto, a expansão do uso de bioinsumos ainda enfrenta entraves relevantes. A ausência de uma regulamentação específica e a limitada oferta de assistência técnica especializada dificultam a adoção mais ampla dessas tecnologias (Vidal et al., 2021). Apesar disso, observa-se um avanço expressivo impulsionado por políticas públicas e investimentos em pesquisa e desenvolvimento (Basso et al., 2025), refletindo o fortalecimento do setor no contexto da agricultura sustentável.

Nos últimos anos, o debate nacional sobre bioinsumos tem se intensificado, impulsionado por preocupações ambientais e pela necessidade de reduzir a dependência de insumos químicos importados (Monteiro et al., 2024). De acordo com Santos, Oliveira e Putti (2024), os bioinsumos — compreendendo biofertilizantes, biodefensivos, inoculantes e outros compostos microbiológicos — representam instrumentos-chave para uma agricultura mais ecológica, regenerativa e adaptada às mudanças climáticas.

A discussão sobre os modelos de produção e uso dos bioinsumos é diversa. Enquanto parte dos atores defende sistemas descentralizados, de base comunitária, voltados principalmente para a

agricultura familiar, outros advogam pela consolidação de grandes biofábricas com rigoroso controle de qualidade e produção em escala industrial. Essa diversidade de abordagens reflete as diferentes realidades produtivas do país e evidencia a necessidade de políticas públicas inclusivas.

Ademais, a valorização de bioinsumos de origem nacional tem implicações econômicas e geopolíticas relevantes, podendo reduzir a vulnerabilidade do agronegócio brasileiro em cenários de instabilidade internacional. Contudo, o avanço sustentável do setor exige a superação de desafios técnicos, regulatórios e formativos, além do estabelecimento de um novo marco legal e científico que integre inovação tecnológica, sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica.

Bioinsumos e sustentabilidade ambiental

O uso de bioinsumos à base de microrganismos tem se destacado como uma estratégia promissora para a promoção da sustentabilidade ambiental na agricultura. Silva et al. (2024) ressaltam que esses insumos promovem a saúde do solo ao intensificar a atividade microbiana benéfica, o que resulta em maior biodiversidade funcional na rizosfera. Esse enriquecimento biológico favorece processos como a mineralização de nutrientes e a formação de agregados estáveis, melhorando a estrutura física do solo e contribuindo para a mitigação da erosão e da compactação, problemas recorrentes em áreas de cultivo intensivo.

De acordo com Mira e Mira (2025), a utilização de bioinsumos pode contribuir para o aumento da matéria orgânica no solo, melhorar a eficiência do uso de nutrientes e reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Além disso, estudos indicam que a substituição parcial de fertilizantes químicos por bioinsumos pode gerar economia significativa, principalmente em cultivos como soja, milho e feijão (Silva et al., 2024). Pesquisas também mostram que o uso de microrganismos como *Bacillus* spp. e *Trichoderma* spp. apresenta grande potencial no controle biológico (Cruz et al., 2023).

Silva et al. (2022) observam que o uso de rizobactérias promotoras de crescimento, como *Azospirillum* spp. e *Pseudomonas* spp., não apenas melhora a absorção de nutrientes pelas plantas,

mas também contribui para o aumento da produção de compostos bioativos no solo, o que influencia positivamente a microbiota nativa. Tais interações microbianas favorecem a estabilidade ecológica do agroecossistema e podem ser estratégicas em áreas com histórico de degradação química ou física do solo.

Cruz et al. (2023) destacam que a aplicação de bioinsumos em sistemas de cultivo intensivo pode modular a fisiologia vegetal, reduzindo o estresse oxidativo e melhorando a expressão de genes relacionados à defesa contra patógenos. Segundo os autores, esses efeitos vão além da simples substituição de insumos químicos, representando um novo paradigma na interface entre fisiologia vegetal e microbiologia aplicada.

A dimensão regulatória e política também tem evoluído no país. De acordo com Vidal et al. (2021), a criação de diretrizes nacionais específicas para bioinsumos representa um avanço importante, embora ainda haja lacunas em termos de fiscalização, padronização de produtos e acesso equitativo às tecnologias. A falta de dados regionais e de protocolos validados em campo ainda limita a expansão da adoção, sobretudo entre pequenos produtores.

Monteiro et al. (2024) chamam atenção para o papel do ambiente edafoclimático na eficácia dos inoculantes. As respostas agronômicas aos bioinsumos podem variar significativamente em função da textura do solo, teor de matéria orgânica, umidade e temperatura média anual. Isso reforça a necessidade de desenvolvimento de formulações adaptadas às condições locais, com base em coleções microbianas regionais e testes agronômicos multicêntricos.

A resiliência das plantas a condições de estresse abiótico, como déficit hídrico e salinidade, também é potencializada por meio da interação simbiótica entre raízes e microrganismos. Esses efeitos são especialmente relevantes em regiões sujeitas a eventos climáticos extremos, ampliando a adaptabilidade dos sistemas agrícolas às mudanças climáticas. Cruz et al. (2024) demonstram que bactérias solubilizadoras de fósforo (PSMs) têm papel estratégico na disponibilização desse macronutriente essencial, por meio da liberação de ácidos orgânicos que solubilizam compostos inorgânicos presentes no solo. Essa dinâmica reduz a dependência de fertilizantes fosfatados de origem mineral, cuja extração está associada à degradação ambiental e à finitude de reservas

naturais. Ao minimizar a aplicação de fosfatos industriais, também se mitiga o risco de eutrofização de corpos hídricos, um impacto negativo frequentemente observado em bacias hidrográficas próximas a zonas agrícolas.

Os benefícios agronômicos se associam diretamente às vantagens ambientais. Em ensaio conduzido por Cruz et al. (2023), observou-se incremento de 49% na biomassa e 33% na produtividade de milho com o uso de microrganismos multifuncionais. Esses resultados evidenciam que a adoção de bioinsumos pode simultaneamente aumentar a eficiência no uso de nutrientes e elevar o rendimento das culturas, reforçando o potencial dessas tecnologias como soluções sustentáveis com ganhos integrados. Além dos microrganismos, insumos como o biochar têm ganhado relevância no debate ambiental. Basso et al. (2025) apontam que o biochar atua como condicionador de solo e agente de sequestro de carbono. Derivado da pirólise de resíduos agrícolas, o biochar contribui para a retenção de água, aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e redução das emissões de gases de efeito estufa como N_2O e CH_4 . Tais características posicionam o biochar como uma ferramenta estratégica para a agricultura de baixo carbono.

No entanto, os impactos positivos dos bioinsumos estão condicionados à adaptação dos produtos às especificidades edafoclimáticas de cada região. Monteiro et al. (2024) alertam que fatores como temperatura, pH, textura do solo e umidade devem ser considerados na seleção de cepas microbianas, sob pena de comprometer a eficiência dos inoculantes ou de promover desequilíbrios na microbiota nativa. Portanto, o desenvolvimento de bioinsumos deve ser pautado por abordagens locais e baseadas em evidências, com validações regionais rigorosas.

Impactos econômicos e produtividade agrícola

Sob a ótica econômica, os bioinsumos representam uma alternativa viável para a redução de custos na produção agrícola, especialmente em um contexto de elevação dos preços de fertilizantes e defensivos químicos convencionais. Cruz et al. (2023) demonstram que, além de ganhos agronômicos significativos na cultura do milho, houve aumento do retorno financeiro por

hectare, atribuído à diminuição dos gastos com insumos sintéticos. Essa relação custo-benefício positiva reforça o apelo dos bioinsumos entre pequenos e médios produtores, frequentemente mais sensíveis às variações de mercado.

Na cultura da soja, resultados ainda mais expressivos foram observados por Cruz et al. (2025), que avaliaram a aplicação de microrganismos multifuncionais combinada a sistemas de plantio diversificado e a diferentes doses de fósforo. O estudo revelou que a diversificação de práticas agrônômicas, aliada ao uso adequado de bioinsumos, gerou maior estabilidade na produtividade e elevou a rentabilidade. Além disso, quando os agricultores receberam capacitação técnica específica sobre o manejo de inoculantes, a relação benefício-custo foi ainda mais favorável, demonstrando que o sucesso da adoção tecnológica depende diretamente do conhecimento técnico disponível no campo.

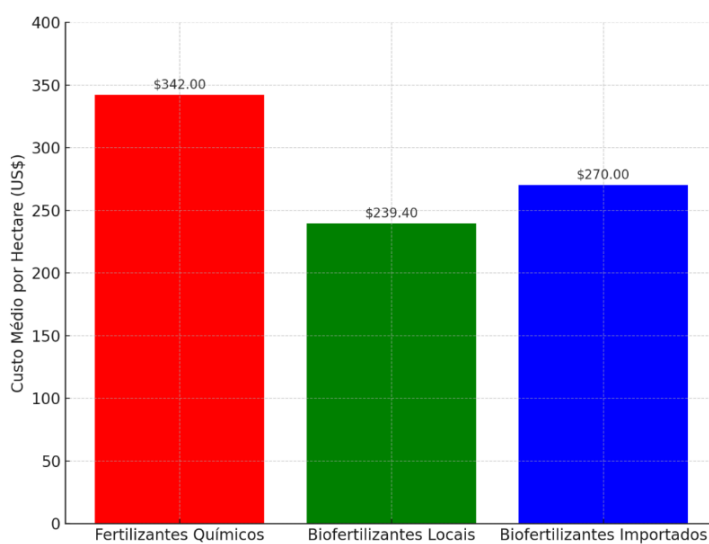
Outro fator relevante é a redução da dependência de insumos importados. Basso et al. (2025) destacam que a produção local de biofertilizantes e de biochar pode mitigar os efeitos da volatilidade cambial sobre os custos de produção, ao mesmo tempo em que dinamiza economias regionais. O biochar, além de suas funções agrônômicas e ambientais, possui valor agregado por sua capacidade de capturar créditos de carbono, o que abre novas perspectivas de receita para produtores inseridos em mercados regulados de emissões.

Basso et al. (2025) trouxeram dados consistentes quanto ao fator econômico da utilização de bioinsumos como biofertilizantes, apresentando uma comparação dos custos médios por hectare (em dólares americanos) entre fertilizantes químicos, biofertilizantes locais e biofertilizantes importados (Figura 3). Observa-se que os fertilizantes químicos representam o maior custo, atingindo US\$ 342,00 por hectare. Em contraste, os biofertilizantes locais apresentam o menor custo, com US\$ 239,40, seguidos pelos biofertilizantes importados, com custo de US\$ 270,00 por hectare, isso representa cerca de US\$ 102,6 e 72,00, respectivamente.

De acordo com o IBGE, no Brasil a área colhida em 2024 foi de 79 milhões de hectares, seguindo a perspectiva de custos de fertilizantes químicos em relação a biofertilizantes locais e importados por hectare, isso representaria uma redução de 8,1 e 5,7 bilhões de dólares. Esses dados

indicam que a substituição de fertilizantes químicos por biofertilizantes, especialmente os de produção local, pode proporcionar uma significativa redução de custos na produção agrícola. Além da economia financeira, o uso de biofertilizantes pode trazer benefícios ambientais e contribuir para práticas agrícolas mais sustentáveis.

Figura 3. Redução de custos com substituição de fertilizantes por biofertilizantes.



Fonte: Basso et al. (2025)

Todavia, ainda persistem desafios estruturais. O acesso a crédito rural específico e a escalabilidade industrial dos bioinsumos são limitados por barreiras regulatórias e custos de certificação. Segundo Santos, Oliveira e Putti (2024), pequenas e médias empresas — frequentemente responsáveis pelas inovações mais disruptivas — enfrentam dificuldades para cumprir as exigências legais, o que compromete a difusão desses produtos em larga escala. Políticas públicas de fomento e desburocratização são, portanto, essenciais para superar essas restrições.

Perspectivas políticas e inovação tecnológica

A criação do Programa Nacional de Bioinsumos, instituído em 2020, representou um marco na política agrícola brasileira ao estabelecer diretrizes que favorecem a inovação e a sustentabilidade no setor agropecuário. Segundo Vidal et al. (2021), a articulação entre ministérios, agências reguladoras, setor produtivo e instituições de pesquisa permitiu a construção de um espaço de governança colaborativo voltado à substituição progressiva de insumos químicos por alternativas biológicas. Tal estrutura normativa ampliou o protagonismo dos bioinsumos nas políticas públicas, transformando-os em instrumentos estratégicos para o desenvolvimento rural sustentável e a segurança alimentar.

Essa iniciativa também impulsionou o avanço tecnológico do setor, estimulando o registro de novas patentes e a intensificação dos investimentos privados e institucionais, como demonstram Santos, Oliveira e Putti (2024). A sinergia entre regulação e ciência aplicada tem acelerado a translação do conhecimento acadêmico em soluções comerciais de alta eficiência. Esse processo contribui para a consolidação de uma base produtiva mais resiliente, diversificada e alinhada às demandas por sistemas agrícolas de baixo impacto ambiental. Dessa forma, a ciência torna-se vetor fundamental para a inovação de mercado, fomentando a competitividade da agropecuária nacional.

Nesse contexto, Mira e Mira (2025) propõem a integração entre os avanços da biotecnologia e os princípios da química verde como caminho promissor para o desenvolvimento de bioinsumos mais sustentáveis. A priorização de processos produtivos com menor geração de resíduos, menor consumo energético e baixa toxicidade reforça o posicionamento estratégico do Brasil em cadeias produtivas internacionais alinhadas a critérios ESG (Environmental, Social and Governance). Esse movimento amplia o potencial de inserção dos bioinsumos brasileiros em mercados globais exigentes e ambientalmente conscientes, além de agregar valor à produção nacional com base em atributos de sustentabilidade. No âmbito da inovação, o levantamento de Santos, Oliveira e Putti (2024) revela um crescimento exponencial de patentes relacionadas a bioinsumos a partir de 2020. Esse movimento reflete a intensificação de pesquisas e o aumento da competitividade tecnológica

do setor. A proteção intelectual de novas formulações e processos destaca-se como mecanismo estratégico para atrair investimentos e expandir o portfólio de produtos disponíveis no mercado.

A inovação tecnológica tem desempenhado papel fundamental na consolidação do setor. O levantamento de Santos, Oliveira e Putti (2024) evidencia o aumento expressivo do número de depósitos de patentes envolvendo microrganismos benéficos, biorreatores de produção, métodos de encapsulamento e formulações com liberação controlada. Tais inovações visam aumentar a estabilidade, a vida útil e a eficiência agrônômica dos bioinsumos, especialmente em ambientes com forte variabilidade climática.

Contudo, a manutenção dos avanços tecnológicos e institucionais depende de estabilidade política e de financiamento público contínuo. Vidal et al. (2021) alertam que oscilações orçamentárias e alterações abruptas nas diretrizes governamentais podem comprometer a previsibilidade regulatória e reduzir o interesse de investidores privados. A falta de continuidade nas políticas públicas prejudica não apenas a consolidação do setor, mas também o seu potencial de se tornar um dos pilares da transição ecológica e econômica da agricultura brasileira. Portanto, a previsibilidade institucional é um elemento-chave para garantir a confiança dos agentes envolvidos e a perenidade das inovações no campo.

Nesse sentido, Basso et al. (2025) propõem o estabelecimento de políticas fiscais diferenciadas, como incentivos tributários, créditos verdes e subsídios diretos à adoção de tecnologias baseadas em bioinsumos, incluindo biofertilizantes e biochar. Os autores também defendem a criação de programas contínuos de extensão rural e assistência técnica voltados à capacitação em boas práticas de manejo biológico, acompanhados de sistemas de monitoramento ambiental e social. Essas ações integradas não apenas ampliam a adoção segura e eficaz de bioinsumos, como também viabilizam a mensuração de seus impactos positivos, fortalecendo o embasamento técnico e político para sua expansão.

Abordagens agroecológicas e microrganismos multifuncionais

As abordagens agroecológicas têm ganhado destaque no cenário agrícola brasileiro por oferecerem um paradigma alternativo que integra processos ecológicos aos sistemas produtivos, promovendo um modelo mais equilibrado e sustentável. Segundo Vidal e Dias (2023), os bioinsumos ocupam posição estratégica nesse contexto, pois favorecem a ciclagem de nutrientes, a conservação da biodiversidade funcional e o aumento da resiliência ecológica dos agroecossistemas. Tais benefícios são particularmente relevantes em um momento em que a agricultura precisa conciliar produtividade com mitigação dos impactos ambientais. Assim, os bioinsumos se consolidam como elementos-chave para a transição agroecológica no Brasil.

Contrariando a percepção de que a agroecologia seria aplicável apenas à agricultura familiar ou de pequena escala, os autores demonstram que práticas agroecológicas podem ser viáveis em sistemas de produção de larga escala, como nas culturas da soja e do milho. A adoção dessas práticas em ambientes extensivos depende da integração de estratégias agroecológicas ao planejamento produtivo, bem como da valorização dos serviços ecossistêmicos prestados pelos solos, microrganismos e pela diversidade vegetal. Isso demonstra que os princípios da agroecologia não se restringem ao tamanho da propriedade, mas sim ao manejo consciente e ecológico dos recursos naturais, capaz de transformar os sistemas agrícolas em ecossistemas mais produtivos e resilientes.

No nível microbiológico, Silva et al. (2022) detalham os mecanismos de ação de rizobactérias e fungos promotores de crescimento de plantas, como a síntese de fitohormônios, sideróforos e compostos antimicrobianos. Esses microrganismos não apenas estimulam o crescimento radicular e aumentam a absorção de nutrientes, como também reforçam os sistemas de defesa das plantas contra patógenos. Ao reduzirem a necessidade de fungicidas e fertilizantes sintéticos, esses bioinsumos contribuem para a saúde do solo e das plantas, ao mesmo tempo em que promovem a redução de custos e riscos ambientais. Portanto, a utilização de microrganismos benéficos representa uma solução biotecnológica de alta eficiência e baixo impacto ambiental.

Cruz et al. (2025) ressaltam que práticas como rotação de culturas e consórcios vegetais potencializam os efeitos dos bioinsumos, ao criarem ambientes mais diversificados e sinérgicos para a atuação dos microrganismos aplicados. A interação entre diferentes espécies vegetais e a microbiota do solo promove condições favoráveis ao equilíbrio nutricional, à sanidade vegetal e à dinâmica biológica dos ecossistemas agrícolas. Com isso, sistemas de produção mais biodiversos não apenas ampliam a eficiência agrônômica dos bioinsumos, como também favorecem a estabilidade ecológica das lavouras, fortalecendo os princípios da agroecologia de forma prática e mensurável.

Monteiro et al. (2024) ampliam essa discussão ao relacionar a experiência brasileira com movimentos internacionais, como a agricultura regenerativa e os sistemas integrados de lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Esses modelos promovem uma convergência entre produtividade e restauração ecológica, integrando o uso de bioinsumos como ferramenta fundamental para aumentar a eficiência ecológica dos sistemas produtivos, favorecer o sequestro de carbono e promover maior adaptação às mudanças climáticas. Nesse sentido, os bioinsumos deixam de ser apenas uma alternativa sustentável para tornarem-se parte essencial de um novo paradigma agroambiental de base regenerativa.

Basso et al. (2025) reforçam a importância da integração de práticas sustentáveis, como a aplicação de biochar em sinergia com microrganismos do solo. Segundo os autores, o biochar pode atuar como suporte físico para os microrganismos, protegendo-os de variações bruscas de temperatura e umidade e aumentando sua persistência no solo. Essa combinação, além de promover o sequestro de carbono, melhora a capacidade de retenção de água e nutrientes, favorecendo o uso eficiente de recursos.

Apesar do avanço conceitual e tecnológico, a transição para modelos agroecológicos enfrenta obstáculos significativos. Vidal e Dias (2023) apontam que a resistência de parte dos produtores está associada a uma percepção de risco elevado diante de tecnologias consideradas não convencionais. Superar tais desafios exige o fortalecimento de programas de capacitação continuada, experimentação participativa e validação científica em condições reais de campo.

Ademais, é essencial que políticas públicas sejam orientadas para fomentar a adoção dessas práticas com base em dados técnicos e evidências de sucesso. Somente por meio de uma articulação entre ciência, extensão rural e governança será possível consolidar os bioinsumos como pilares da agricultura agroecológica em larga escala. Diante disso, a literatura recente converge para a ideia de que os bioinsumos representam mais do que uma substituição técnica aos insumos químicos: eles se configuram como elementos-chave em sistemas agrícolas resilientes, integrados e tecnologicamente inovadores. A consolidação desse setor depende da articulação entre ciência, políticas públicas, capacitação técnica e sensibilidade ecológica.

Considerações finais

A análise integrada evidencia que os bioinsumos oferecem benefícios ambientais tangíveis, como menor contaminação do solo e da água, além de mitigar emissões de gases de efeito estufa. Esses ganhos alinham-se às metas internacionais de desenvolvimento sustentável e à necessidade de adaptação às mudanças climáticas. Sob o prisma econômico, os estudos apontam reduções de custos e aumentos de produtividade quando os bioinsumos são aplicados de forma adequada e acompanhados de boas práticas agrícolas. O potencial de geração de novas receitas mediante créditos de carbono e agregação de valor a produtos diferenciados reforça sua atratividade. Conclui-se que a expansão do uso de bioinsumos na agricultura brasileira depende de esforços coordenados de pesquisa aplicada, políticas públicas estáveis, financiamento adequado e capacitação de produtores. Ao superar esses desafios, o país pode reafirmar seu protagonismo em uma agricultura de baixo carbono e alta competitividade.

Referências

BASSO, M. C. A.; SANT'ANA, D. D.; FUJITA, A. T.; SILVA, F. M.; MEIRELES, E.; GOMES, W. S.; SILVA, C. P. S.; CRUVINEL, G. F. A.; MOREIRA, R. S.; MELOTTI, L. M. D. Biofertilizantes e biochar: impactos sustentáveis e políticas públicas para a agricultura brasileira. **Caderno Pedagógico**, [S.l.], v. 22, n. 1, p. 13575, 21 jan. 2025.

CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; DUARTE, G. A.; SILVA, M. A.; ROCHA, I. S. Soybean productivity and financial viability with rhizobacteria,

farming systems, and phosphorus doses. **Journal of Environmental Science and Health, Part B**, p. 1–8, 17 jun. 2025.

CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. da C.; NASCENTE, A. S.; OLIVEIRA, R. B.; SANTOS, S. G. F. dos; ROSA, C. O.; VIEIRA, I. C. de O. Microorganismos multifuncionais na agricultura: uma revisão sistemática sobre bactérias solubilizadoras de fósforo. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 3, p. e5854, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.3-358.

CRUZ, D. R. C.; SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C. de; FERREIRA, E. P. de B. Use of multifunctional microorganisms in corn crop. **Revista Caatinga**, v. 36, n. 2, p. 349-361, 2023.

MIRA, A. B.; MIRA, A. B. A química verde aplicada à agronomia na produção de insumos agrícolas sustentáveis: uma revisão bibliográfica. **Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro**, v. 2, n. 01, p. 1–26, 2025.

MONTEIRO, N. O. C.; CRUZ, D. R. C.; FERREIRA, I. I. L.; OLIVEIRA, R. B.; ROCHA, I. S.; NASCENTE, A. S.; SOUZA, N. O. S. E. Sustainable practices in Brazilian and global agriculture in the 21st century. **Contribuciones A Las Ciencias Sociales**, v. 17, n. 8, p. 9520, 19 ago. 2024.

SANTOS, J. P.; OLIVEIRA, A. L. P.; PUTTI, F. F. Bioinsumos na agricultura: panorama tecnológico das patentes biológicas. **Revista de Gestão e Secretariado**, [S.L.], v. 15, n. 9, p. 4137, 24 set. 2024.

SILVA, A. F. G.; BARBOSA, K. A.; SILVA, A. F.; CRUZ, J. E. Potencial dos bioinsumos para a agricultura sustentável: uma análise a partir de suas características, conceitos e vantagens. **Revista Mirante**, Anápolis (GO), v. 17, n. 2, p. 250–265, dez. 2024.

SILVA, M. A.; NASCENTE, A. S.; REZENDE, C. C.; FRASCA, L. L. M.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; FERREIRA, E. P. B.; CRUZ, D. R. C.; LACERDA, M. C.; FERREIRA, E. A. S. Rizobactérias multifuncionais: utilização na agricultura. **Research, Society And Development**, v. 11, n. 4, p. 3111426971, 2022.

VIDAL, M. C.; AMARAL, D. F. S.; NOGUEIRA, J. D.; MAZZARO, M. A. T.; LIRA, V. M. C. 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, M. C.; DIAS, R. P. Bioinsumos a partir das contribuições da agroecologia. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 18, n. 1, p. 171–192, 2023.