

**BIOINSUMOS MICROBIANOS NA DINÂMICA SOLO-PLANTA-MICRORGANISMO:
IMPLICAÇÕES NA FERTILIDADE, CICLAGEM DE NUTRIENTES, CONTROLE
BIOLÓGICO E SUSTENTABILIDADE AGROECOSSISTÊMICA**

**MICROBIAL BIOINPUTS IN THE SOIL-PLANT-MICROORGANISM DYNAMICS:
IMPLICATIONS FOR FERTILITY, NUTRIENT CYCLING, BIOLOGICAL CONTROL, AND
AGROECOSYSTEM SUSTAINABILITY**

 <https://doi.org/10.63330/armv2n2-002>

Submetido em: 16/02/2026 e Publicado em: 25/02/2026

Bárbara Tainara Ferreira Pires

Graduanda em Agronomia
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Brasília
E-mail: barbaratainara09@gmail.com

Vinicius Antônio Oliveira Bueno

Graduando em Agronomia
Universidade Católica de Brasília
E-mail: vinicius.bueno202@gmail.com

Nicolle Backmann Damaso Silva

Graduanda em Ciências Biológicas
Universidade Católica de Brasília
E-mail: nicollebackmann@gmail.com

Flávia Tatiane Nóbrega de Miranda

Licenciada em Ciências Biológicas
Universidade Católica de Brasília
E-mail: flavia.profciencia@gmail.com

Andréialice Ribeiro Moraes

Pós-graduada em Psicopedagogia
Universidade Cândido Mendes
E-mail: andreialice@gmail.com

Wellika Maria Leão

Pós-graduada em Produção de Suínos
Instituto Facuminas EAD
E-mail: wellikaleao16@gmail.com

Sâmela Keila Almeida dos Santos

Doutora em Ciências Veterinárias
Universidade Federal de Uberlândia
E-mail: samelazootecnia1@gmail.com



Elizabete Lourenço Pires

Doutora em Ciências Agrárias
Instituto Federal Goiano Campus Rio Verde
E-mail: elizabetelou@gmail.com

Hellen Rodrigues Oliveira

Bacharel em Agronomia
Universidade de Brasília
E-mail: hellen_rodrigues02@hotmail.com

Júlia Dayseane Nascimento de Araújo

Graduanda em Medicina Veterinária
Universidade Federal da Paraíba
E-mail: dayseanejulia@gmail.com

Arlini Rodrigues Fialho

Mestra em Agronomia
Instituto Federal Goiano
E-mail: arlinirf@gmail.com

Eduarda Holanda de Souza

Graduanda em Medicina Veterinária
Centro Universitário de Brasília
E-mail: holandadudinha290@gmail.com

Thayan Alves Marques

Graduando em Medicina Veterinária
Centro Universitário de Brasília
E-mail: thayanalves080@gmail.com

Leandro da Silva Andrade

Pós-graduado em Metodologia de Ensino de Biologia e Química
Faculdade Futura
E-mail: andradels2022@gmail.com

Pedro Anthonio Martins Ornelas

Graduando em Engenharia Agrônômica
Universidade de Brasília
E-mail: pedro.ornelas23@gmail.com

Wylliane Oliveira França

Pós-graduada em Diagnóstico por Imagem
Instituto Nacional de Ensino e Pesquisa
E-mail: wylliane.89@gmail.com

RESUMO

A produção agropecuária enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade, fertilidade do solo e segurança alimentar, especialmente em sistemas integrados de produção vegetal e animal. Bioinsumos microbianos surgem como ferramentas biotecnológicas capazes de otimizar a interação solo-planta-microrganismo,



promovendo crescimento vegetal, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica. Este estudo teve como objetivo analisar criticamente o papel desses bioinsumos na fertilidade do solo, na modulação do microbioma, na ciclagem de nutrientes e na redução de patógenos, avaliando impactos em diferentes contextos agrícolas e na produção animal. Foi realizada revisão bibliográfica integrativa, incluindo artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso publicados entre 2018 e 2025, em português e inglês, com coleta sistemática e análise qualitativa dos dados. Os resultados indicam que bioinsumos microbianos aumentam a disponibilidade de nutrientes essenciais, promovem matéria orgânica, modulam a microbiota do solo e fortalecem resistência de plantas a estresses bióticos e abióticos, contribuindo para maior produtividade e qualidade de forragens. Consórcios microbianos demonstraram potencial para restaurar solos degradados, reduzir insumos químicos e reforçar práticas agroecossistêmicas sustentáveis. Conclui-se que a aplicação estratégica desses bioinsumos oferece suporte científico e prático para agrônomos e médicos-veterinários, promovendo sistemas produtivos mais resilientes, seguros e sustentáveis. Recomenda-se investigação de longo prazo, protocolos padronizados, integração interdisciplinar e tradução dos achados em políticas públicas e práticas profissionais, assegurando monitoramento, avaliação contínua e disseminação responsável dos resultados para aprimorar manejo sustentável, saúde animal e conservação ambiental.

Palavras-chave: Inoculantes microbianos; Biofertilizantes; Microbioma agrícola; Saúde do solo; Produção vegetal integrada.

ABSTRACT

Agricultural production faces challenges related to sustainability, soil fertility, and food security, especially in integrated plant and animal production systems. Microbial bioinputs emerge as biotechnological tools capable of optimizing the soil-plant-microorganism interaction, promoting plant growth, nutrient cycling, biological control, and agroecosystem sustainability. This study aimed to critically analyze the role of these bioinputs in soil fertility, microbiome modulation, nutrient cycling, and pathogen reduction, assessing impacts in different agricultural contexts and animal production. An integrative literature review was conducted, including scientific articles, theses, dissertations, and undergraduate research papers published between 2018 and 2025, in Portuguese and English, with systematic data collection and qualitative analysis. The results indicate that microbial bioinputs increase the availability of essential nutrients, promote organic matter, modulate soil microbiota, and strengthen plant resistance to biotic and abiotic stresses, contributing to higher productivity and forage quality. Microbial consortia demonstrated potential to restore degraded soils, reduce chemical inputs, and reinforce sustainable agroecosystem practices. It is concluded that the



strategic application of these bioinputs provides scientific and practical support for agronomists and veterinarians, promoting more resilient, safe, and sustainable production systems. Long-term investigation, standardized protocols, interdisciplinary integration, and translation of findings into public policies and professional practices are recommended, ensuring monitoring, continuous evaluation, and responsible dissemination of results to improve sustainable management, animal health, and environmental conservation.

Keywords: Microbial inoculants; Biofertilizers; Agricultural microbiome; Soil health; Integrated plant production.

1 INTRODUÇÃO

A produção agropecuária contemporânea encontra-se no cerne de debates científicos e técnicos acerca da sustentabilidade ambiental, da manutenção da fertilidade do solo e da garantia da segurança alimentar, especialmente em sistemas que integram produção vegetal e animal. Nesse panorama, os bioinsumos microbianos consolidam-se como ferramentas biotecnológicas estratégicas para otimizar a dinâmica solo-planta-microrganismo, promovendo crescimento vegetal, estabilidade ecológica e maior eficiência no uso de nutrientes (Bargaz *et al.*, 2018; Elnahal *et al.*, 2022; Florencio *et al.*, 2022). Ao favorecer processos naturais como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo, produção de fitormônios e antagonismo a fitopatógenos, esses insumos reduzem a dependência de fertilizantes sintéticos e pesticidas, contribuindo para sistemas produtivos mais resilientes (Bhattacharyya; Furtak, 2025; Wang, 2021). Tal contexto amplia o interesse não apenas da agronomia, mas também da medicina veterinária, sobretudo em cadeias produtivas que dependem da qualidade das forragens e da sanidade ambiental, em consonância com estratégias globais de desenvolvimento sustentável (Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Khan, 2022).

No cenário brasileiro, a literatura evidencia avanços significativos na adoção de bioinsumos como alternativa para incrementar a fertilidade e a saúde do solo. Oliveira (2023) destaca que biofertilizantes microbianos aumentam a disponibilidade de nutrientes e melhoram a eficiência agrônômica, reduzindo custos e impactos ambientais. De forma complementar, Rodrigues (2024) demonstra que o uso de inoculantes eleva a atividade enzimática e a diversidade microbiana edáfica, fatores determinantes para a estabilidade produtiva em longo prazo. Rosa (2023) ressalta que a produção *on farm* de produtos biológicos à base de bactérias pode ser tecnicamente viável, desde que respeitados critérios de qualidade e controle microbiológico. Paralelamente, avanços na formulação e no desenvolvimento de carreadores têm aprimorado a estabilidade e a eficácia de inoculantes comerciais (Florencio *et al.*, 2022; Singh; Kumar,



2024), ainda que aspectos relacionados à biossegurança e avaliação de riscos demandem atenção contínua (Kumari *et al.*, 2023).

Em âmbito internacional, revisões sistemáticas e estudos experimentais reforçam que a modulação da microbiota do solo constitui elemento-chave para a sustentabilidade agroecossistêmica. Zhang *et al.* (2025) demonstram que biofertilizantes promovem incrementos na fertilidade e na produtividade por meio da reorganização funcional das comunidades microbianas. Wang; Chi; Song (2024), ao analisarem três décadas de literatura, evidenciam a influência determinante de microbiotas específicas sobre a saúde vegetal e o equilíbrio do solo. Investigações conduzidas por Wang (2021) e Eliza (2023) indicam que a aplicação de inoculantes em solos degradados favorece a recuperação estrutural e funcional, ampliando a sustentabilidade em distintos contextos geográficos. Ademais, Bargaz *et al.* (2018) e Bhattacharyya; Furtak (2025) enfatizam que a integração entre fertilidade biológica, ciclagem de nutrientes e controle de patógenos representa abordagem sistêmica indispensável para a consolidação de sistemas agrícolas sustentáveis, enquanto Folina *et al.* (2025) defendem a incorporação de biorrecursos em modelos orgânicos como estratégia de desenvolvimento rural sustentável.

A aplicabilidade prática desses achados extrapola a produção vegetal e impacta diretamente a atuação do médico-veterinário. A qualidade microbiológica do solo influencia a composição nutricional das forragens, a biodisponibilidade de minerais e a presença de microrganismos benéficos ou patogênicos, refletindo-se no desempenho zootécnico e na saúde animal (Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Florencio *et al.*, 2022). Além disso, estratégias baseadas em inoculantes contribuem para o controle biológico e para a redução de resíduos químicos no ambiente, alinhando-se às práticas de produção sustentável e ao conceito de Saúde Única (Elnahal *et al.*, 2022; Khan, 2022). Assim, o domínio dos fundamentos microbiológicos do solo amplia a capacidade do profissional veterinário de atuar em programas de manejo integrado, recuperação de pastagens degradadas e planejamento de sistemas integrados de produção.

Entretanto, a literatura aponta limitações metodológicas que impõem cautela na interpretação dos resultados. A heterogeneidade de formulações, a variabilidade edafoclimática e a ausência de protocolos universalmente padronizados dificultam a comparação entre estudos e a extrapolação dos dados para diferentes realidades produtivas (Rosa, 2023; Khan, 2022; Rodrigues, 2024). Ademais, muitos experimentos concentram-se em avaliações de curto prazo, restringindo a compreensão dos efeitos cumulativos e da estabilidade ecológica em longo prazo (Oliveira, 2023; Eliza, 2023). Soma-se a isso a necessidade de monitoramento quanto à segurança ambiental e aos possíveis riscos associados ao uso indiscriminado de determinados microrganismos (Kumari *et al.*, 2023).

Diante dessas lacunas, torna-se imperativo investir em pesquisas de longa duração que integrem análises microbiológicas, bioquímicas e indicadores produtivos, permitindo compreensão mais



aprofundada da interação solo-planta-microrganismo (Bargaz *et al.*, 2018; Wang, 2021; Zhang *et al.*, 2025). A exploração de consórcios microbianos adaptados a diferentes biomas e sistemas de produção pode ampliar a eficiência e a previsibilidade dos resultados (Folina *et al.*, 2025; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025). Além disso, estudos voltados ao aprimoramento de formulações, estabilidade de inoculantes e integração entre conhecimento científico e prática agrícola são essenciais para consolidar a aplicabilidade técnica e econômica dessas tecnologias (Singh; Kumar, 2024; Eliza, 2023).

À luz dessas evidências, o presente estudo propôs analisar criticamente o papel dos bioinsumos microbianos na dinâmica solo-planta-microrganismo, com ênfase na fertilidade, na ciclagem de nutrientes, no controle biológico e na sustentabilidade agroecossistêmica. A síntese das produções nacionais e internacionais demonstra que a utilização estratégica de microrganismos benéficos constitui alternativa viável para elevar a produtividade e reduzir impactos ambientais, respondendo aos objetivos delineados e oferecendo subsídios científicos consistentes para práticas inovadoras na agronomia e na medicina veterinária (Bargaz *et al.*, 2018; Bhattacharyya; Furtak, 2025; Elnahal *et al.*, 2022; Florencio *et al.*, 2022; Folina *et al.*, 2025; Khan, 2022; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Oliveira, 2023; Rodrigues, 2024; Rosa, 2023; Singh; Kumar, 2024; Wang, 2021; Wang; Chi; Song, 2024; Zhang *et al.*, 2025; Eliza, 2023).

2 METODOLOGIA

2.1 TIPO DE ESTUDO

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão bibliográfica integrativa, concebida para consolidar e analisar de forma sistemática o conhecimento disponível sobre bioinsumos microbianos e suas interações na dinâmica solo-planta-microrganismo. Esta abordagem qualitativa e descritiva permite reunir informações provenientes de artigos científicos, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso, promovendo uma visão abrangente sobre fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica. A metodologia adotada possibilita a identificação de padrões, tendências emergentes e lacunas no conhecimento existente, fornecendo subsídios teóricos e práticos para a aplicação de bioinsumos na agronomia e na prática veterinária.

2.2 ESTRATÉGIA DE BUSCA E COLETA DE DADOS

A coleta de dados seguiu uma estratégia estruturada e sistemática, com definição prévia de termos e descritores relacionados a bioinsumos microbianos, inoculantes, fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica. As combinações desses descritores permitiram a identificação de estudos diretamente relacionados às interações entre microrganismos, plantas e solo. Foram selecionados artigos científicos, revisões, teses, dissertações e trabalhos de conclusão de



curso, priorizando informações atuais e relevantes, de forma a refletir as práticas mais recentes e inovadoras no uso de bioinsumos em sistemas agrícolas.

2.3 BASES DE DADOS E CRITÉRIOS DE SELEÇÃO

Para garantir abrangência e representatividade, foram consultadas bases de dados nacionais e internacionais, incluindo periódicos revisados por pares e repositórios institucionais de universidades e centros de pesquisa. Os critérios de inclusão priorizaram publicações que abordassem bioinsumos microbianos, fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica. Foram excluídos trabalhos com escopo distinto do tema central, literatura não revisada por pares, duplicações e estudos com informações insuficientes ou irrelevantes, assegurando a construção de uma base sólida e confiável de evidências.

2.4 RECORTE TEMPORAL E LINGUÍSTICO

O período de análise contemplou publicações realizadas entre 2018 e 2025, incorporando evidências recentes e tendências contemporâneas sobre bioinsumos microbianos e agricultura sustentável. O recorte linguístico incluiu materiais em português e inglês, permitindo a integração de perspectivas nacionais e internacionais, bem como a comparação de resultados e práticas aplicadas em diferentes contextos geográficos e sistemas produtivos.

2.5 PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta, as informações foram organizadas em tabelas temáticas, categorizadas em tópicos como fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico, formulações de bioinsumos e aplicabilidade em sistemas agroecossistêmicos. Em seguida, foi realizada análise qualitativa integrativa, destacando padrões recorrentes, tendências emergentes e lacunas de conhecimento. Essa sistematização possibilitou não apenas a síntese das informações, mas também a identificação de oportunidades para futuras pesquisas e intervenções práticas, fornecendo subsídios para decisões técnicas em agronomia e saúde animal.

2.6 ASPECTOS ÉTICOS E RIGOR METODOLÓGICO

O estudo observou princípios éticos e metodológicos que asseguram a confiabilidade e a transparência da pesquisa. Todas as fontes foram analisadas com rigor crítico, garantindo interpretação objetiva e organizada dos dados. A sistematização das informações, bem como a padronização na coleta e análise, permitiu minimizar vieses, assegurar a replicabilidade e fornecer resultados consistentes que podem ser utilizados por outros pesquisadores interessados no tema.



2.7 JUSTIFICATIVA DA METODOLOGIA

A revisão bibliográfica integrativa revelou-se a metodologia mais adequada para os objetivos do estudo, pois permite consolidar informações dispersas em diferentes fontes, avaliar criticamente evidências científicas e oferecer recomendações aplicáveis à prática agrícola e à atuação do médico-veterinário. Essa abordagem possibilita compreender de forma aprofundada as interações solo-planta-microrganismo, seus efeitos sobre fertilidade, produtividade e sustentabilidade agroecossistêmica, e integrar achados nacionais e internacionais, construindo um panorama detalhado, confiável e relevante para avanços acadêmicos e aplicabilidade prática.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 RESULTADOS

3.1.1 Impacto dos bioinsumos microbianos na fertilidade do solo

A análise das publicações selecionadas evidenciou que os bioinsumos microbianos influenciam positivamente parâmetros-chave da fertilidade do solo, incluindo aumento da matéria orgânica, manutenção do pH adequado e elevação da capacidade de troca catiônica (Bargaz *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2025; Rodrigues, 2024). Observou-se também incremento na disponibilidade de macronutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, promovendo maior eficiência agrônômica. Tais resultados indicam que a inoculação microbiana atua de forma sinérgica com os processos naturais do solo, fortalecendo a sustentabilidade de sistemas agrícolas integrados.

3.1.2 Papel na ciclagem de nutrientes e na modulação do microbioma

Os dados indicam que os inoculantes microbianos desempenham papel central na ciclagem de nutrientes, favorecendo fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fósforo e decomposição de resíduos orgânicos (Bhattacharyya; Furtak, 2025; Wang; Chi; Song, 2024; Eliza, 2023). A aplicação de consórcios microbianos promoveu mudanças na composição e diversidade da microbiota do solo, elevando a resiliência funcional e a eficiência de processos biogeoquímicos, o que reforça a capacidade desses bioinsumos de modular a ecologia microbiana de maneira sustentável.

3.1.3 Controle biológico e resistência a patógenos

Verificou-se que bioinsumos microbianos apresentam ação efetiva no controle de patógenos fitopatogênicos, por meio de mecanismos de antagonismo direto, produção de compostos antibióticos e indução de resistência sistêmica nas plantas (Elnahal *et al.*, 2022; Khan, 2022; Florencio *et al.*, 2022). Essa funcionalidade contribui para redução de doenças fúngicas e bacterianas, fortalecendo a saúde vegetal e



diminuindo a dependência de pesticidas químicos, o que evidencia a relevância desses insumos para práticas agrícolas mais seguras e ecologicamente responsáveis.

3.1.4 Aplicabilidade prática e sustentabilidade agroecossistêmica

A integração dos resultados demonstra que bioinsumos microbianos podem ser aplicados de forma estratégica em sistemas de manejo integrado, favorecendo produção de forragens de qualidade, aumento de produtividade vegetal e saúde animal (Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Rosa, 2023; Oliveira, 2023). Além disso, a redução do uso de fertilizantes e pesticidas químicos reforça a sustentabilidade agroecossistêmica, alinhando práticas agrícolas à saúde pública e ao conceito de Saúde Única.

3.1.5 Limitações atuais e lacunas para pesquisas futuras

Entre as limitações identificadas, destaca-se a heterogeneidade das formulações microbianas, a ausência de protocolos padronizados de aplicação e a escassez de estudos de longo prazo sobre os efeitos cumulativos e a estabilidade ecológica (Kumari *et al.*, 2023; Eliza, 2023; Rodrigues, 2024). Além disso, a maioria dos estudos analisados apresenta restrições geográficas ou metodológicas, indicando a necessidade de pesquisas adicionais que integrem avaliações em diferentes biomas, tipos de solo e condições climáticas.

3.1.6 Consórcios microbianos e recuperação de solos degradados

Os achados evidenciam que consórcios microbianos adaptados podem restaurar funcionalidade e equilíbrio biológico em solos degradados, aumentando a eficiência de ciclagem de nutrientes e promovendo resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos (Wang, 2021; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Bhattacharyya; Furtak, 2025). Essa estratégia reforça a capacidade de bioinsumos de atuar como ferramenta biotecnológica para recuperação ecológica e manutenção de produtividade em sistemas agroecossistêmicos.

3.1.7 Integração com objetivos do estudo

De maneira geral, os resultados confirmam que os bioinsumos microbianos cumprem os objetivos propostos, promovendo fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica (Bargaz *et al.*, 2018; Bhattacharyya; Furtak, 2025; Zhang *et al.*, 2025; Oliveira, 2023; Rodrigues, 2024; Rosa, 2023; Eliza, 2023; Elnahal *et al.*, 2022; Florencio *et al.*, 2022; Khan, 2022; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Wang, 2021; Wang; Chi; Song, 2024). Assim, as evidências fornecem suporte sólido para a aplicação prática de bioinsumos e orientam futuras pesquisas em agricultura sustentável e medicina veterinária.



3.2 DISCUSSÃO

3.2.1 Comparação com literatura nacional e internacional

Os achados deste estudo estão em consonância com evidências nacionais e internacionais que indicam que bioinsumos microbianos aumentam a fertilidade do solo e modulam a microbiota rizosférica (Bargaz *et al.*, 2018; Bhattacharyya; Furtak, 2025; Zhang *et al.*, 2025). A literatura mostra consistência nos efeitos sobre crescimento vegetal, eficiência nutricional e controle biológico, corroborando os resultados obtidos e destacando a relevância dessas tecnologias em diferentes contextos edafoclimáticos (Elnahal *et al.*, 2022; Khan, 2022; Wang; Chi; Song, 2024).

3.2.2 Interpretação crítica dos efeitos na saúde vegetal e animal

A análise crítica evidencia que os efeitos positivos sobre fertilidade e microbiota do solo vão além da produtividade vegetal, impactando diretamente a qualidade nutricional de forragens e grãos, com repercussões na saúde e desempenho de animais de produção (Oliveira, 2023; Rodrigues, 2024; Rosa, 2023). Redução de patógenos edáficos também diminui riscos de doenças zoonóticas, reforçando a integração entre práticas agrícolas e saúde animal, conforme o conceito de Saúde Única (Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025).

3.2.3 Implicações práticas para profissionais

Os resultados sugerem que o manejo da microbiota do solo por meio de bioinsumos representa ferramenta prática para médicos-veterinários e agrônomos, permitindo redução de insumos químicos, aumento de produtividade e sustentabilidade ambiental (Eliza, 2023; Wang; Chi; Song, 2024; Florencio *et al.*, 2022). A aplicação estratégica desses insumos fortalece práticas integradas de manejo, restauração de pastagens degradadas e planejamento de sistemas de produção agropecuários sustentáveis.

3.2.4 Limitações metodológicas

As limitações incluem restrição linguística (português e inglês), heterogeneidade metodológica, predominância de estudos experimentais de curto prazo e necessidade de validação em campo em sistemas diversificados (Bargaz *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2025; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025). Tais fatores podem limitar a generalização dos achados e ressaltam a importância de protocolos padronizados e monitoramento ambiental.

3.2.5 Perspectivas para pesquisas futuras

Recomenda-se investigação de longo prazo envolvendo consórcios microbianos, tipos de solo, culturas vegetais e condições climáticas diversas, com enfoque em formulações inovadoras e segurança



ambiental (Khan, 2022; Wang, 2021; Elnahal *et al.*, 2022; Eliza, 2023). Estudos integrados podem explorar efeitos cumulativos e interações complexas em sistemas integrados de produção vegetal e animal.

3.2.6 Interpretação da sustentabilidade agroecossistêmica

A discussão evidencia que bioinsumos microbianos contribuem para sustentabilidade ambiental, eficiência de uso de recursos e redução de impactos químicos, integrando objetivos econômicos, ecológicos e produtivos (Bargaz *et al.*, 2018; Florencio *et al.*, 2022; Folina *et al.*, 2025). Esse alinhamento reforça a relevância de tais insumos como estratégia biotecnológica moderna, aplicável a contextos de produção diversificados.

3.2.7 Conexão com os objetivos do estudo

Em síntese, os resultados obtidos respondem de forma consistente aos objetivos propostos, demonstrando que bioinsumos microbianos promovem fertilidade do solo, ciclagem de nutrientes, controle biológico e sustentabilidade agroecossistêmica (Bargaz *et al.*, 2018; Bhattacharyya; Furtak, 2025; Zhang *et al.*, 2025; Oliveira, 2023; Rodrigues, 2024; Rosa, 2023; Eliza, 2023; Elnahal *et al.*, 2022; Florencio *et al.*, 2022; Khan, 2022; Maciel-Rodríguez; Moreno-Valencia; Plascencia-Espinosa, 2025; Wang, 2021; Wang; Chi; Song, 2024). As evidências fornecem suporte científico robusto para aplicações práticas, bem como para planejamento de pesquisas futuras em agronomia e medicina veterinária.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou os desafios associados à utilização de bioinsumos microbianos na dinâmica solo-planta-microrganismo, considerando a necessidade urgente de alternativas sustentáveis à agricultura convencional. A produção agropecuária enfrenta limitações decorrentes do uso intensivo de fertilizantes e pesticidas químicos, que afetam a saúde do solo, a eficiência nutricional das plantas e a segurança alimentar. Nesse contexto, compreender como os microrganismos podem interagir com plantas e solo de forma a promover fertilidade, controlar patógenos e fortalecer a sustentabilidade agroecossistêmica constitui questão central, com relevância direta para o manejo integrado de culturas e sistemas de produção animal.

Os resultados indicam que bioinsumos microbianos exercem efeitos multifacetados sobre a fertilidade do solo, modulando a composição da microbiota e promovendo maior disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio. Esses insumos favorecem a retenção de matéria orgânica, ajustam características químico-físicas do solo e estimulam processos biológicos benéficos, contribuindo para sistemas agrícolas mais produtivos e resilientes. Além disso, a aplicação de consórcios microbianos demonstrou capacidade de reduzir a incidência de patógenos, promover resistência sistêmica



em plantas e melhorar o crescimento vegetal, inclusive em solos degradados, mostrando que os efeitos vão além da fertilidade, abrangendo aspectos de equilíbrio ecológico e recuperação ambiental.

Do ponto de vista científico, a pesquisa amplia a compreensão sobre os mecanismos pelos quais bioinsumos modulam a interação entre solo, plantas e microrganismos, oferecendo suporte para estratégias inovadoras de agricultura sustentável. Para a medicina veterinária, o estudo evidencia a importância da qualidade microbiológica do solo na produção de forragens nutricionalmente adequadas, impactando diretamente o desempenho animal e a redução de riscos de doenças de origem ambiental ou zoonótica. Ao integrar princípios de biotecnologia microbiana com práticas agroecológicas, o trabalho oferece base científica robusta para avanços em manejo integrado e programas de Saúde Única.

As evidências destacam que a utilização de bioinsumos microbianos pode ser aplicada de forma estratégica na rotina profissional de agrônomos e médicos-veterinários, permitindo reduzir a dependência de fertilizantes e pesticidas químicos, aumentar a produtividade e garantir forragens de alta qualidade. A incorporação desses insumos em sistemas integrados de produção vegetal e animal fortalece a sustentabilidade ambiental, otimiza recursos naturais e fornece ferramentas para práticas mais seguras e economicamente viáveis, ao mesmo tempo em que melhora a eficiência nutricional e a resistência a estresses bióticos e abióticos.

O estudo evidencia impactos mais amplos, incluindo conservação do solo, promoção da biodiversidade microbiana e mitigação de impactos ambientais associados ao uso intensivo de agroquímicos. Socialmente, a adoção de bioinsumos contribui para segurança alimentar, saúde animal e fortalecimento de sistemas agropecuários familiares e comerciais. No âmbito educacional, os achados fornecem subsídios para capacitação de estudantes e profissionais em técnicas de manejo sustentável, estimulando a disseminação de conhecimentos integrados que unem ciência, prática e inovação tecnológica.

Apesar dos avanços obtidos, o estudo apresenta limitações que devem ser consideradas ao interpretar os resultados. A heterogeneidade metodológica das pesquisas analisadas, a predominância de experimentos de curto prazo e o recorte linguístico restrito a publicações em português e inglês podem restringir a generalização dos achados para todos os sistemas de produção e biomas. Além disso, ainda existem lacunas quanto à avaliação de impactos cumulativos a longo prazo e à segurança ambiental associada ao uso de determinados consórcios microbianos, indicando a necessidade de investigação contínua e adaptação local.

Em síntese, o estudo demonstra que os bioinsumos microbianos constituem ferramenta científica e prática estratégica para incrementar fertilidade do solo, otimizar a ciclagem de nutrientes, controlar patógenos e fortalecer a sustentabilidade agroecossistêmica. Os resultados reforçam que a integração entre microbiologia, agronomia e medicina veterinária oferece soluções inovadoras para sistemas de produção mais resilientes e produtivos, evidenciando a relevância desses insumos na agricultura contemporânea. A



mensagem final do trabalho ressalta que o avanço sustentável depende da união entre conhecimento científico, aplicação prática e inovação tecnológica, promovendo benefícios ambientais, econômicos e sociais de forma simultânea.

REFERÊNCIAS

- BARGAZ, A.; LYAMLOULI, K.; CHTOUKI, M.; ZEROUAL, Y.; DHIBA, D. Soil microbial resources for improving fertilizers efficiency in an integrated plant nutrient management system. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, Switzerland, v. 9, art. 1606, 2018. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.01606>.
- BHATTACHARYYA, S. S.; FURTAK, K. Soil-plant-microbe interactions determine soil biological fertility by altering rhizospheric nutrient cycling and biocrust formation. *Sustainability*, Basel, Switzerland, v. 15, n. 01, art. 625, 2023. <https://doi.org/10.3390/su15010625>.
- ELIZA, M. *Utilizing the soil microbiome for sustainable agriculture in the UK: Drawing from rhizobial inoculants and farmer knowledge*. 2023. 126 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – School of Biosciences, University of Sheffield, Sheffield, 2023. Disponível em: <https://etheses.whiterose.ac.uk/id/eprint/35536/>.
- ELNAHAL, A. S. M.; EL-SAADONY, M. T.; SAAD, A. M.; DESOKY, E.-S. M.; EL-TAHAN, A. M.; RADY, M. M.; ABUQAMAR, S. F.; EL-TARABILY, K. A. The use of microbial inoculants for biological control, plant growth promotion, and sustainable agriculture: a review. *European Journal of Plant Pathology*, Dordrecht, Netherlands, v. 162, p. 759-792, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02393-7>.
- FLORENCIO, C.; BORTOLETTO-SANTOS, R.; FAVARO, C. P.; BRONDI, M. G.; VELLOSO, C. C. V.; KLAIC, R.; RIBEIRO, C.; FARINAS, C. S.; MATTOSO, L. H. C. Avanços na produção e formulação de inoculantes microbianos visando uma agricultura mais sustentável. *Química Nova*, São Paulo, São Paulo, Brasil v. 45, n. 09, p. 1133-1145, 2022. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170909>.
- FOLINA, A.; KAKABOUKI, I.; BAGINETAS, K.; BILALIS, D. Integration of bioresources for sustainable development in organic farming: a comprehensive review. *Resources*, Basel, v. 14, n. 07, art. 102, 2025. <https://doi.org/10.3390/resources14070102>.
- FRANCIOLI, D.; KAMPOURIS, I. D.; KUHL-NAGEL, T.; BABIN, D.; SOMMERMAN, L.; BEHR, J. H.; CHOWDHURY, S. P.; ZRENNER, R.; MORADTALAB, N.; SCHLOTER, M.; GEISTLINGER, J.; LUDEWIG, U.; NEUMANN, G.; SMALLA, K.; GROSCHE, R. Microbial inoculants modulate the rhizosphere microbiome, alleviate plant stress responses, and enhance maize growth at field scale. *Genome Biology*, London, United Kingdom, v. 26, art. 148, 2025. <https://doi.org/10.1186/s13059-025-03621-7>.
- KHAN, S. T. Consortia-based microbial inoculants for sustaining agricultural activities. *Applied Soil Ecology*, Amsterdam, Netherlands, v. 176, art. 104503, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2022.104503>.
- KUMARI, M.; SWARUPA, P.; KESARI, K. K.; KUMAR, A. Microbial inoculants as plant biostimulants: a review on risk status. *Life*, Basel, Netherlands, v. 13, n. 1, 2023. <https://doi.org/10.3390/life13010012>.



MACIEL-RODRÍGUEZ, M.; MORENO-VALENCIA, F. D.; PLASCENCIA-ESPINOSA, M. The role of plant growth-promoting bacteria in soil restoration: a strategy to promote agricultural sustainability. *Microorganisms*, Basel, Switzerland, v. 13, n. 08, art. 1799, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms13081799>.

OLIVEIRA, N. F. de. *Bioinsumos e a produção agrícola sustentável no Brasil – tecnologias e desafios para a fertilidade do solo*. 2023. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônômica) – Departamento de Tecnologia e Ciências Sociais, Universidade do Estado da Bahia, Juazeiro, 2023. Disponível em: <https://saberaberto.uneb.br/items/7c1db68f-5625-44f9-8ad0-4e0fbc06042a/full>.

RODRIGUES, A. M. dos S. *Impacto do uso de bioinsumos na saúde do solo*. 2024. 95 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2024. <https://doi.org/10.11606/D.11.2024.tde-07102024-103248>.

ROSA, B. L. de S. *Produção on farm de produtos biológicos à base de bactérias: um olhar sobre a qualidade*. 2023. 26 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Fitossanidade) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2023. Disponível em: <https://agrarias.ufpr.br/pglsf/wp-content/uploads/sites/48/2024/05/BRUNA-LUIZA-DE-SOUZA-ROSA.pdf>.

SINGH, V.; KUMAR, B. A review of agricultural microbial inoculants and their carriers in bioformulation. *Rhizosphere*, Amsterdam, Netherlands, v. 29, art. 100843, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100843>.

WANG, X.; CHI, Y.; SONG, S. Important soil microbiota's effects on plants and soils: a comprehensive 30-year systematic literature review. *Frontiers in Microbiology*, Lausanne, Switzerland, v. 15, art. 1347745, 2024. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1347745>.

WANG, Z. *Linking microbial inoculants and associated changes in the soil microbiome to plant-soil performance in degraded lands*. 2021. 189 f. Tese (Doutorado em Ciências Naturais) – Department of Biology, Faculty of Science, Utrecht University, Utrecht, 2021. <https://doi.org/10.33540/980>.

ZHANG, X.; ZHANG, L.; LIU, J.; SHEN, Z.; LIU, Z.; GU, H.; HU, X.; YU, Z.; LI, Y.; JIN, J.; WANG, G. Biofertilizers enhance soil fertility and crop yields through microbial community modulation. *Agronomy*, Basel, Switzerland, v. 15, n. 07, art. 1572, 2025. <https://doi.org/10.3390/agronomy15071572>.