MICRORGANISMOS UTILIZADOS COMO BIOINSUMOS PRODUZIDOS *ON FARM* NO BRASIL

Alejandro Pio de Souza[1], Sara Nascimento dos Santos[1], Sheila Souza da Silva Ribeiro[1], Thiago Teixeira Costa[1], Sara Dousseau Arantes[1], Guilherme de Resende Camara[2]

[1]Universidade Federal do Espírito Santo/ Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Alto Universitário s/nº, 29500-000 – Alegre - ES, Brasil, alejandrops621@gmail.com, Saranascimentodossantos@gmail.com, sheilasouzaribeiro@gmail.com, ttcosta81@gmail.com, saradousseau@gmail.com

[2]Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/ Núcleo Regional do Espírito Santo – NRES, Rodovia Cachoeiro-Alegre, km 5, Morro Grande - Cachoeiro de Itapemirim-ES, Brasil,gcamara@cetem.gov.br.

Resumo
A intensificação da agricultura brasileira tem ampliado a busca por estratégias sustentáveis e menos dependentes de insumos sintéticos, destacando-se os bioinsumos de origem microbiana. Esta revisão teve como objetivo analisar a literatura sobre microrganismos utilizados como bioinsumos produzidos *on farm* no Brasil, considerando aspectos relacionados à produção, aos benefícios agronômicos e econômicos, à qualidade, à regulamentação e à segurança de uso. Para isso, foi realizada revisão bibliográfica de publicações disponíveis nas bases Web of Science, Scopus, SciELO e Google Acadêmico, considerando estudos publicados nos dez anos anteriores à realização da busca. Entre os principais microrganismos identificados destacaram-se bactérias dos gêneros *Bacillus, Pseudomonas, Acinetobacter* e *Pantoea*, além de *Trichoderma* spp., fungos entomopatogênicos e fungos micorrízicos arbusculares. A literatura evidenciou benefícios relacionados à redução de custos, à autonomia dos produtores, à promoção do crescimento vegetal e ao controle biológico. Entretanto, foram identificadas limitações associadas à contaminação microbiológica, à falta de padronização dos processos, ao controle insuficiente de qualidade e aos possíveis impactos ambientais e sanitários. Conclui-se que os bioinsumos produzidos *on farm* apresentam potencial para contribuir com a sustentabilidade da agricultura brasileira, desde que sua produção e utilização sejam fundamentadas em critérios técnicos, controle de qualidade, biossegurança e cumprimento da legislação vigente.
Palavras-chave: Bactérias. Micorrizas. Sustentabilidade.

Área do Conhecimento: Ciências Agrárias – Agronomia.

Introdução

Os bioinsumos são produtos, processos ou tecnologias de origem biológica utilizados na agricultura para promover o crescimento e o desenvolvimento das plantas, melhorar a saúde do solo e auxiliar no controle de pragas e doenças. Podem ser derivados de fontes vegetais, animais ou microbianas e incluem biofertilizantes, biopesticidas, bioestimulantes e agentes de controle biológico (Brasil, 2024a). Entre esses recursos, os microrganismos têm recebido destaque pela capacidade de promover o crescimento vegetal e atuar no controle de organismos associados a pragas e doenças, por mecanismos que envolvem disponibilização de nutrientes, produção de compostos reguladores do crescimento e antagonismo a agentes fitopatogênicos (Etesami et al., 2023; Nunes et al., 2024).

O interesse pelos bioinsumos também está relacionado à necessidade de reduzir impactos ambientais e econômicos decorrentes do uso intensivo de fertilizantes inorgânicos e pesticidas sintéticos. No Brasil, consolidaram-se duas frentes de produção: os bioinsumos industrializados,

produzidos por empresas e submetidos aos procedimentos oficiais de registro, e os bioinsumos produzidos diretamente na unidade produtiva, denominados *on farm*. Nesta modalidade, a multiplicação de microrganismos é realizada para uso na própria propriedade, sendo associada à redução de custos, à autonomia do produtor e ao aproveitamento de recursos disponíveis localmente. A produção *on farm*, inicialmente relacionada a culturas perenes, expandiu-se para culturas anuais de grande importância econômica, como soja, milho e algodão (Faria et al., 2023; Kovalski et al., 2024).

Apesar das vantagens, a produção local envolve desafios relacionados à qualidade microbiológica, à concentração do agente ativo, à padronização dos processos, à biossegurança e à estabilidade do produto. A introdução de microrganismos também pode modificar comunidades microbianas nativas, e a eficiência observada em condições controladas nem sempre é reproduzida no campo devido às interações entre microrganismo, planta, solo e microbiota residente (Ambrosini et al., 2016; O'Callaghan et al., 2022). Paralelamente, a regulamentação brasileira avançou com o Programa Nacional de Bioinsumos e com a Lei nº 15.070/2024. Diante desse cenário, este trabalho teve como objetivo sintetizar e analisar criticamente a literatura sobre microrganismos utilizados como bioinsumos produzidos *on farm* no Brasil, destacando organismos empregados, formas de produção, benefícios, limitações, aspectos regulatórios e questões de segurança.

Metodologia

Para esta pesquisa, seguiu-se metodologia baseada em revisão bibliográfica de publicações relacionadas ao uso de microrganismos como bioinsumos produzidos *on farm* no Brasil. Foram consultados artigos científicos das bases Web of Science, Scopus, SciELO e Google Acadêmico, utilizando descritores em português e inglês relacionados a bioinsumos *on farm*, Brasil, microrganismos promotores de crescimento e controle biológico, combinados pelos operadores AND e OR. Foram incluídos artigos originais ou de revisão, disponíveis na íntegra, que abordassem a produção ou multiplicação local de bioinsumos e microrganismos promotores de crescimento e/ou agentes de controle biológico no contexto brasileiro. A seleção foi realizada por triagem de títulos e resumos, seguida da leitura dos trabalhos potencialmente elegíveis. A análise foi qualitativa e descritiva, buscando identificar os principais aspectos agronômicos, tecnológicos, ambientais e regulatórios relacionados aos bioinsumos microbianos *on farm.*

Resultados

A literatura analisada evidenciou crescimento e diversificação da produção de bioinsumos microbianos *on farm* no Brasil. A prática é descrita como a multiplicação de microrganismos benéficos realizada pelo próprio agricultor para aplicação na unidade produtiva, tendo como principais atrativos a redução dos custos operacionais, a diminuição da dependência de insumos externos e a possibilidade de adequação às necessidades locais. Faria et al. (2023) relatam a expansão dessa prática a partir do uso em culturas perenes, com posterior crescimento em culturas anuais como soja, milho e algodão. Esse processo foi acompanhado pelo desenvolvimento de diferentes sistemas de multiplicação e pela utilização de uma ampla diversidade de agentes biológicos.

Entre os grupos microbianos associados à promoção do crescimento vegetal, destacaram-se bactérias dos gêneros *Bacillus, Pseudomonas, Acinetobacter* e *Pantoea*. As espécies de *Bacillus* apresentaram especial relevância pela possibilidade de reunir funções de promoção do crescimento e controle de doenças. Os mecanismos descritos incluem participação na regulação e disponibilização de nutrientes, envolvendo nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre, além da produção de fitormônios, como auxinas. Os resultados da literatura também registraram a utilização de fungos do gênero *Trichoderma*, fungos entomopatogênicos e fungos micorrízicos arbusculares, demonstrando que a produção *on farm* não está restrita a um único grupo funcional (Andreata et al., 2024; Barbosa et al., 2025).

No controle biológico, a produção *on farm* concentrou-se em agentes com aplicação no manejo integrado de pragas e doenças. *Bacillus thuringiensis* foi apontado como importante agente utilizado contra insetos da ordem *Lepidoptera*, com predominância da fermentação em meio líquido. Também foram relatados fungos entomopatogênicos, como *Cordyceps javanica* e *Beauveria bassiana*, empregados principalmente no controle de insetos sugadores. Para doenças associadas ao solo, *Trichoderma* spp. foi descrito como agente de interesse, podendo atuar tanto no antagonismo a

patógenos quanto na promoção do crescimento e na tolerância a estresses (Faria et al., 2023; Bernardo et al., 2019).

Os sistemas de produção identificados variaram de acordo com o grupo microbiano. A fermentação em meio líquido foi descrita como metodologia predominante para bactérias bioinseticidas, enquanto a fermentação em estado sólido apresentou importância na produção de fungos. Para fungos micorrízicos arbusculares, a multiplicação *on farm* foi associada ao estabelecimento de plantas hospedeiras previamente colonizadas em substratos de multiplicação. Também foi relatado o uso de resíduos da agroindústria florestal, como casca de pinus e lodo de celulose, como componentes de substratos, indicando a possibilidade de aproveitamento de materiais disponíveis localmente (Czerniak; Stürmer, 2014; Ferreyra-Suarez et al., 2024).

A literatura também registrou uma tendência de desenvolvimento de produtos microbianos de nova geração, buscando maior padronização e múltiplas funções. Fertilizantes microbianos e formulações contendo microrganismos promotores de crescimento foram associados à melhoria da nutrição vegetal e à tolerância a estresses abióticos. O fungo micorrízico arbuscular *Rhizophagus clarus*, por exemplo, foi associado à melhoria da tolerância fisiológica à seca em soja, enquanto a aplicação combinada de bactérias promotoras de crescimento e fungos micorrízicos arbusculares foi relacionada ao aumento da tolerância do milho à salinidade (Andreata et al., 2024).

Em contrapartida, foram recorrentes os relatos de problemas de qualidade microbiológica. A ausência de controle rigoroso pode resultar em contaminação por microrganismos não desejados e em concentração inadequada do ingrediente ativo, comprometendo a eficácia no campo. Estudos de qualidade de bioinsumos multiplicados *on farm* a partir de *Bacillus* spp. identificaram cocos e bacilos Gram-positivos, outras bactérias e fungos leveduriformes nos produtos finais. A presença desses contaminantes, inclusive quando a cepa-alvo apresentava concentração adequada, foi relacionada a falhas no processo de multiplicação e de assepsia (Oliveira; Fruet, 2025).

Os resultados relacionados à regulamentação mostraram evolução do marco institucional brasileiro. A Lei nº 6.894/1980 estabeleceu bases para inspeção e fiscalização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, posteriormente complementadas por regulamentações específicas (Brasil, 1980; Brasil, 2004). Em 2020, o Decreto nº 10.375 instituiu o Programa Nacional de Bioinsumos, com objetivo de ampliar e fortalecer a utilização de bioinsumos no País (Brasil, 2020). Em 2024, a Lei nº 15.070 passou a disciplinar de forma abrangente a produção, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização e os incentivos relacionados aos bioinsumos (Brasil, 2024a). Os estudos analisados destacaram ainda a importância dos métodos oficiais de avaliação de pureza e viabilidade para garantir a qualidade dos produtos (Brasil, 2024b).

Quanto aos impactos ambientais, a literatura evidenciou que a introdução de microrganismos pode alterar a estrutura, a composição e a diversidade das comunidades microbianas nativas. Essas alterações podem resultar de competição por nichos e nutrientes ou ser mediadas por respostas da planta hospedeira e mudanças nas condições do solo. Alguns inoculantes, incluindo linhagens de *Azospirillum*, foram associados à redução da diversidade bacteriana nativa em determinadas condições, enquanto outros estudos não identificaram efeitos significativos. A persistência e a capacidade de colonização do microrganismo, portanto, aparecem como fatores relevantes para compreender os efeitos de longo prazo (Ambrosini et al., 2016; Trabelsi; Mhamdi, 2013).

Outro resultado identificado foi a necessidade de avaliar a compatibilidade entre inoculantes microbianos e produtos químicos utilizados no manejo agrícola. Essa questão é particularmente importante em sistemas de manejo integrado, nos quais estratégias biológicas e químicas podem ser utilizadas de forma complementar. A literatura também apontou aumento do interesse por consórcios microbianos, mas ressaltou que a compatibilidade entre as espécies e entre os consórcios e agroquímicos precisa ser conhecida para evitar antagonismos e perda de eficiência (Canfora et al., 2021; Nunes et al., 2024).

Discussão

Os resultados mostram que a expansão dos bioinsumos *on farm* está relacionada não apenas à busca por alternativas aos produtos químicos, mas também à redução da dependência de insumos externos, à diminuição de custos e ao aproveitamento de recursos disponíveis na propriedade. Entretanto, esses benefícios dependem da obtenção de preparações com características previsíveis, evidenciando a diferença entre a flexibilidade da produção local e a maior padronização dos produtos industrializados (Faria et al., 2023; Andreata et al., 2024).

A diversidade de microrganismos identificada demonstra que não existe uma única estratégia de bioinsumo *on farm*. Bactérias, fungos filamentosos, fungos entomopatogênicos e fungos micorrízicos apresentam funções distintas, sendo necessário considerar o objetivo agronômico, a cultura, as condições ambientais e a forma de aplicação. A predominância de *Bacillus* entre os agentes bacterianos reforça sua importância entre os microrganismos utilizados nesses sistemas (Nunes et al., 2024; Faria et al., 2023).

A qualidade microbiológica constitui um dos principais desafios da produção *on farm*. A presença de contaminantes pode reduzir a concentração do microrganismo de interesse e comprometer a eficácia, além de aumentar possíveis riscos sanitários e ambientais. Dessa forma, procedimentos de assepsia, seleção adequada do inóculo e análises de pureza e concentração são fundamentais para garantir a qualidade das preparações (Kovalski et al., 2024; Faria et al., 2023).

No âmbito regulatório, o Programa Nacional de Bioinsumos e a Lei nº 15.070/2024 representam avanços na organização do setor. Entretanto, sua efetividade depende de fiscalização, infraestrutura laboratorial e capacitação técnica que permitam aplicar os critérios de qualidade estabelecidos (Vidal et al., 2021; Brasil, 2024a).

A segurança ambiental também merece atenção, pois a introdução de microrganismos em altas concentrações pode modificar comunidades microbianas nativas. Além disso, resultados obtidos em condições controladas nem sempre se repetem no campo, devido à competição com a microbiota residente e às variações ambientais. Assim, estudos sobre persistência, colonização e interação com a planta e o solo são necessários para aumentar a consistência dos resultados (Ambrosini et al., 2016; O'Callaghan et al., 2022).

Os consórcios microbianos apresentam potencial para reunir diferentes mecanismos de ação, mas sua utilização exige avaliação da compatibilidade entre os microrganismos e com os produtos empregados no manejo agrícola. Dessa forma, estudos de compatibilidade e estabilidade são importantes para garantir a eficiência dessas formulações (Canfora et al., 2021; Nunes et al., 2024).

Em síntese, o principal desafio da produção *on farm* é conciliar autonomia e redução de custos com qualidade, segurança e eficiência agronômica. A consolidação dessa tecnologia depende da integração entre pesquisa, boas práticas de produção, fiscalização, capacitação e extensão rural, permitindo ampliar seus benefícios sem comprometer a saúde dos usuários e o equilíbrio dos agroecossistemas (Canfora et al., 2021).

Conclusão

Os resultados desta revisão mostram que os bioinsumos microbianos produzidos *on farm* apresentam potencial para contribuir com a sustentabilidade da agricultura brasileira, principalmente pela redução de custos, pela maior autonomia dos produtores e pela possibilidade de utilizar microrganismos com funções de promoção do crescimento, controle biológico e melhoria da saúde do solo. *Bacillus* spp., *Pseudomonas, Acinetobacter, Pantoea, Trichoderma* spp., fungos entomopatogênicos e fungos micorrízicos arbusculares foram os principais grupos identificados na literatura. Apesar do potencial, contaminações microbiológicas, falta de padronização, concentração inadequada do agente ativo, incertezas sobre efeitos não alvo e limitações de compatibilidade com produtos químicos constituem desafios importantes. A consolidação da produção *on farm* depende, portanto, da adoção de boas práticas de multiplicação, controle de qualidade, biossegurança, capacitação e cumprimento da legislação vigente. Estudos de campo e avaliações de longo prazo permanecem necessários para ampliar a segurança e a previsibilidade dessas tecnologias.

Referências

AMBROSINI, A. et al. Ecological role of bacterial inoculants and their potential impact on soil microbial diversity. **Plant and Soil**, v. 400, n. 1, p. 193-207, 2016.

ANDREATA, M. F. L. et al. Microbial fertilizers: a study on the current scenario of Brazilian inoculants and future perspectives. **Plants**, v. 13, n. 16, p. 2246, 2024.

BARBOSA, M. F. et al. Biological resources driving productivity: bioinputs for sustainable plant agriculture in Brazil. **Sustainable Microbiology**, Oxford, v. 2, n. 3, 2025.

BERNARDO, J. T. et al. Isolamento *on farm* de *Trichoderma*: uma ferramenta no controle de doenças de solo para os agricultores no Brasil. **Revista Teste SPGG**, [S. l.], v. 5, n. 3, p. 263-270, 2019.

BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o Regulamento da Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 15 jan. 2004.

BRASIL. Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 27 maio 2020.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 17 dez. 1980.

BRASIL. Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, o registro, a comercialização, o uso, a inspeção, a fiscalização, as taxas e os incentivos à produção de bioinsumos para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 24 dez. 2024a.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA). Secretaria de Defesa Agropecuária (SDA). Portaria SDA/MAPA nº 1.110, de 13 de maio de 2024. Aprova os métodos oficiais para realização de ensaios dos programas e controles oficiais do Ministério da Agricultura e Pecuária. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 14 maio 2024b.

CANFORA, L. et al. Trends in soil microbial inoculants research: a science mapping approach to unravel strengths and weaknesses of their application. **Agriculture**, v. 11, n. 2, 158, 2021.

CZERNIAK, M. J.; STÜRMER, S. L. Produção de inoculante micorrízico *on farm* utilizando resíduos da indústria florestal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, 2014.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R.; GLICK, B. R. Biocontrol of plant diseases by *Bacillus* spp. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 126, 2023.

FARIA, M. et al. On-farm production of microbial entomopathogens for use in agriculture: Brazil as a case study. **Neotropical Entomology**, São Paulo, v. 52, p. 122-133, 2023.

FERREYRA-SUAREZ, D. et al. A review on fungal-based biopesticides and biofertilizers production. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, Amsterdam, v. 283, p. 116945, 2024.

KOVALSKI, E. et al. Análises microbiológicas de bioinsumos multiplicados a partir de *Bacillus* e *Trichoderma* em biofábricas na região de Curitibanos – SC. **Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar**, v. 13, 2024.

NUNES, P. S. O. et al. Microbial consortia of biological products: do they have a future? **Biological Control**, v. 188, p. 105439, 2024.

O'CALLAGHAN, M. et al. Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: limitations and opportunities. **Soil Use and Management**, v. 38, n. 4, p. 1360-1370, 2022.

OLIVEIRA, L. F. P.; FRUET, T. K. Análise de qualidade microbiológica da multiplicação *on farm* de isolados bacterianos no cultivo de soja. 2025.

TRABELSI, D.; MHAMDI, R. Microbial inoculants and their impact on soil microbial communities: a review. **BioMed Research International**, v. 2013, Article ID 863240, 2013.

VIDAL, M. C. et al. Bioinsumos: a construção de um programa nacional pela sustentabilidade do agro brasileiro. **Economic Analysis of Law Review**, v. 12, n. 3, p. 557-574, 2021.