

# Bioinsumos na agricultura

## Tendências e desafios no Brasil

CHRISTIANE ABREU DE OLIVEIRA PAIVA  
DANIEL BINI



**APD**

DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL · ALEMANHA  
AGRARPOLITISCHER DIALOG BRASILIEN · DEUTSCHLAND

**APD****DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL · ALEMANHA**  
**AGRARPOLITISCHER DIALOG BRASILIEN · DEUTSCHLAND**

O Diálogo Agropolítico Brasil-Alemanha (APD, sigla em alemão) é um mecanismo de intercâmbio de conhecimentos e de informações sobre desafios bilaterais e globais no campo da política agrícola e ambiental. Há mais de duas décadas o Ministério Federal da Agricultura, Alimentação e Identidade Regional (BMLEH, sigla em alemão) tem desenvolvido iniciativas semelhantes com diversos países, que são referências importantes para o APD no Brasil.

As atividades do APD têm como base o Memorando de Entendimento assinado pelo BMLEH, pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) e pelo Ministério do Desenvolvimento Agrário e Agricultura Familiar (MDA). Representantes dos ministérios brasileiros e alemães, da sociedade civil, do setor agrícola e alimentício e da comunidade científica são parte ativa do diálogo.

Em vista dos crescentes desafios globais relacionados ao clima, à agricultura, à pecuária e ao meio ambiente, o objetivo do APD é obter uma melhor compreensão mútua das políticas agrícolas e ambientais de ambos os países. O intercâmbio e a publicação de conhecimentos ocorrem por meio de webinars, conferências, publicações e viagens técnicas.

SCN Quadra 1 Bloco C salas 1102-1104

Ed. Brasília Trade Center Brasília - DF

+55 61 9 9964-3731

[contato@apd-brasil.de](mailto:contato@apd-brasil.de)

[www.apdbrasil.de](http://www.apdbrasil.de)

[APD Brasil Alemanha](#)

[APD Brasil Alemanha](#)

Com o apoio de:



Ministério Federal  
da Agricultura, Alimentação  
e Identidade Regional

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA E  
PECUÁRIA

MINISTÉRIO DO  
DESENVOLVIMENTO  
AGRÁRIO E  
AGRICULTURA FAMILIAR

GOVERNO DO  
**BRASIL**  
DO LADO DO POVO BRASILEIRO

em virtude de decisão  
do Bundestag Alemão

Implementado por

**GFA**  
CONSULTING GROUP  
Mandatário do BMLEH  
Escritório de Berlim

**IAK**  
AGRAR CONSULTING

# Bioinsumos na agricultura

## Tendências e desafios no Brasil

CHRISTIANE ABREU DE OLIVEIRA PAIVA  
DANIEL BINI



Sete Lagoas, outubro de 2025.

### **SOBRE ESTE ESTUDO**

Este estudo foi encomendado como documento de referência pelo **APD** | DIÁLOGO AGROPOLÍTICO BRASIL - ALEMANHA. O seu conteúdo é de responsabilidade exclusiva dos autores. Quaisquer opiniões aqui expressas não são necessariamente representativas ou endossadas pelo APD.

### **AUTORES**

#### **CHRISTIANE ABREU DE OLIVEIRA PAIVA**

Christiane Abreu de Oliveira-Paiva é engenheira agrônoma e pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, especializada em microbiologia agrícola e do solo. Doutora em Interação Planta-Microrganismos e mestre em Ecologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), é curadora da Coleção de Microrganismos Multifuncionais da Embrapa desde 2010. Sua pesquisa foca no desenvolvimento de bioinsumos microbianos, incluindo o BiomaPhos. Esse foi o primeiro produto registrado no Brasil capaz de aumentar a absorção de fósforo pelas plantas, além do controle biológico de doenças e da interação planta-solo-microrganismos. Reconhecida por suas contribuições à ciência, foi homenageada na Agrishow 2023 e recebeu o BRICS Solutions Award em 2025.

#### **DANIEL BINI**

Daniel Bini é biólogo especializado em microbiologia agrícola e ambiental. Possui doutorado em Solos e Nutrição de Plantas pela Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (Esalq/USP) e mestrado em Microbiologia pela Universidade Estadual de Londrina (UEL). Atualmente, é pesquisador em pós-doutorado na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, onde participa de pesquisas voltadas ao desenvolvimento de inoculantes microbianos, com ênfase em bactérias solubilizadoras de fosfato, e estratégias sustentáveis para o manejo do solo.

# Sumário

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introdução                                                                              | 5  |
| 1.1. Desafios da agricultura brasileira                                                    | 6  |
| 1.2. Histórico dos bioinsumos no Brasil                                                    | 8  |
| 2. Regulamentação dos bioinsumos no Brasil                                                 | 12 |
| 2.1. Produtos biológicos conforme a legislação brasileira                                  | 12 |
| 2.2. Histórico legal dos bioinsumos no Brasil                                              | 13 |
| 2.3. Marco legal dos bioinsumos                                                            | 14 |
| 2.4. Como é feito o registro de um defensivo microbiológico no Brasil?                     | 15 |
| 2.5. Como é feito o registro de um inoculante no Brasil?                                   | 15 |
| 2.6. Visão técnica do desenvolvimento de bioinsumos no Brasil                              | 16 |
| 3. Tendências do mercado brasileiro de bioinsumos                                          | 18 |
| 4. Desafios para a produção e avanço dos bioinsumos no Brasil                              | 21 |
| 5. Desafios da produção <i>on farm</i>                                                     | 23 |
| 6. Principais tendências e perspectivas futuras para o portfólio de bioinsumos brasileiros | 25 |
| 7. Casos de sucesso da pesquisa brasileira e potencial de mercado                          | 27 |
| 7.1. Inovações da Embrapa em bioinsumos                                                    | 27 |
| 7.2. Case 1: Primeiro solubilizador de fosfato brasileiro (BiomaPHOS)                      | 29 |
| 7.3. Case 2: Biofungicida para doenças de solo                                             | 31 |
| 8. Conclusão                                                                               | 33 |
| 9. Referências                                                                             | 34 |

# 1. Introdução

O Brasil, que na década de 1970 ainda apresentava elevada dependência de importações de alimentos e tecnologias, transformou-se em menos de cinco décadas em referência mundial no desenvolvimento de uma agricultura tropical baseada em ciência e inovação, um feito sem paralelo no cenário global. Essa verdadeira revolução agrícola permitiu ao país consolidar-se entre os principais produtores e exportadores de grãos e de culturas estratégicas, como milho, soja, café, cana-de-açúcar e algodão, desempenhando papel fundamental para a segurança alimentar mundial (Policarpo et al., 2025). Paralelamente, a agricultura brasileira tem se destacado como polo de geração de tecnologias emergentes que conciliam alta produtividade, viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental.

O Brasil figura entre os principais produtores mundiais de grãos, ao lado de China, Estados Unidos e Índia. O crescimento da produção tem sido expressivo: a safra 2024/25 está estimada em 350 milhões de toneladas, estabelecendo um novo recorde na série histórica e superando o volume de 324 milhões de toneladas registrado em 2022/23 (Conab, 2025). No comércio internacional, o país também se destaca, visto que em 2023 exportou cerca de 161 milhões de toneladas de grãos, o que correspondeu a aproximadamente 24% do total mundial, acima da média dos últimos anos (21%) (Embrapa, 2024a). Esse desempenho resulta da combinação de avanços tecnológicos, expansão de fronteiras agrícolas, políticas de incentivo e crédito subsidiado, demanda externa crescente, melhorias logísticas, condições climáticas favoráveis e solos férteis (Conab, 2025).

Contudo, a modernização da agricultura brasileira tem se orientado não apenas para ganhos de produtividade, mas também para a incorporação de práticas mais sustentáveis. Nesse contexto, os bioinsumos ou produtos de origem biológica vêm se consolidando como alternativas promissoras para reduzir a dependência de insumos químicos tradicionais (Policarpo et al., 2025). Seu uso busca responder a desafios centrais do setor, como por exemplo a elevada dependência de fertilizantes sintéticos majoritariamente importados, o uso intensivo de agroquímicos no controle de pragas, os altos custos de produção e a necessidade de mitigar emissões de gases de efeito estufa (Policarpo et al., 2025).

Do ponto de vista agrônomo, o Brasil dispõe de uma ampla variedade de bioinsumos no mercado, entre eles figuram os microrganismos promotores de crescimento de plantas, como *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Bacillus* e *Trichoderma*, que têm demonstrado capacidade



de aumentar a eficiência de uso de nutrientes, estimular a produção de fitormônios, induzir resistência sistêmica contra fitopatógenos e aumentar a tolerância das culturas a estresses abióticos, como seca e salinidade (de Andrade et al., 2023; Sharma et al., 2025; Vermelho et al., 2025).

A expansão dos bioinsumos no Brasil marca uma transformação no setor agrícola, fruto da integração entre pesquisa, produtores, empresas e sociedade. O mercado brasileiro de bioinsumos tem apresentado crescimento acelerado, com uma taxa média anual de 21% nos últimos três anos, quatro vezes superior à média global. O uso desses produtos está presente entre as principais culturas brasileiras como soja, milho, cana-de-açúcar, algodão, café, cítricos, frutas e hortaliças (Croplife Brasil, 2024a; Vermelho et al., 2025).

O marco legal favorável impulsiona seu uso, alinhando o país às tendências globais de agricultura sustentável e fortalecendo sua competitividade. Esse avanço responde tanto à demanda social por práticas responsáveis quanto à necessidade de adaptação às mudanças climáticas, como estratégia para reduzir emissões de gases de efeito estufa e contribuir para o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (Policarpo et al., 2025). Isso visa fortalecer a sanidade e a qualidade das lavouras, assegurando avanços consistentes na sustentabilidade e na resiliência da agricultura brasileira.

## **1.1. Desafios da agricultura brasileira**

A crescente produção agrícola brasileira é seguida por muitos desafios relacionados ao âmbito ambiental, econômico e geopolítico. Entre esses figuram a alta dependência de fertilizantes importados, o uso intensivo de agroquímicos, a redução de gases de efeito estufa, o cenário de aumento populacional mundial e a consequente maior demanda por grãos (CropLife, 2024a; Pereira & Cardoso, 2025; Policarpo et al., 2025). Esses fatores tornam a produção agrícola brasileira mais onerosa e reforçam a necessidade de inovação tecnológica, adoção de práticas sustentáveis e maior eficiência no uso de recursos, de modo a contribuir com a segurança alimentar global.

Atender a demanda mundial por alimentos e reduzir os impactos das práticas agrícolas é desafiador. Isso é especialmente relevante em um cenário de aumento da população mundial até 2050, quando ela deverá atingir aproximadamente 9,7 bilhões de pessoas e ultrapassar 10 bilhões até o final do século (ONU, 2019). Nesse contexto, a agricultura mundial será pressionada a expandir sua capacidade produtiva para atender às necessidades

alimentares globais. Essa pressão recai, sobretudo, sobre países de grande potencial agrícola, como o Brasil, sendo que ajustes no processo de produção serão necessários.

O Brasil apresenta um elevado consumo de fertilizantes, aproximadamente 45 milhões de toneladas importadas em 2023 e 2024, mantendo-se como um dos maiores importadores mundiais, de acordo com a Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2025). De maneira geral, estima-se que aproximadamente 80% dos fertilizantes usados na agricultura brasileira são importados, sendo as maiores dependências externas do país para potássio (95%), nitrogênio (80%) e fosfatos (60%) (Brasil, 2023; Agrolink, 2023). Esse alto consumo se explica, em grande parte, pelas condições dos solos tropicais, que são naturalmente ácidos e de baixa fertilidade, exigindo correção e reposição constante de nutrientes para manter a produtividade agrícola. Em 2024, os fertilizantes representaram cerca de 23% dos custos de produção de soja, milho e algodão, e sua importação, dominada por poucos fornecedores, gera alta dependência externa, gastos em dólar e maior vulnerabilidade às variações cambiais, especialmente diante da produção nacional limitada (Pereira & Cardoso, 2025).

Além dos fertilizantes, o Brasil também está no topo dos maiores consumidores de agroquímicos do mundo (300 mil toneladas anuais), com um aumento de consumo na faixa de 700% nos últimos quarenta anos, enquanto a área agrícola cresceu 78% (Embrapa, 2021a). Esse surpreendente volume supera em quase 60% o consumo dos Estados Unidos, segundo colocado no ranking mundial. O uso intenso se deve à abundância de pragas e doenças agrícolas, favorecida pelo clima tropical quente e úmido, e à preocupação com a disseminação e introdução de pragas agrícolas, além de perdas de produtividade em culturas estratégicas como soja, milho, citros e cana-de-açúcar. Soma-se a isso o limitado monitoramento de pragas e doenças, que dificulta a detecção precoce e incentiva o uso inadequado de defensivos. Apesar da importância dos defensivos para os fins agrícolas, eles causam impactos negativos à saúde humana, especialmente em trabalhadores expostos durante manuseio, aplicação e descarte, além de efeitos ambientais adversos.

O clima brasileiro também se configura como um desafio, por possuir diferentes realidades em cada região. O Brasil é um país tropical, sujeito a maior pressão de doenças e pragas nas culturas do que em países e clima temperado (Angelotti et al., 2024). Quando considerada as emergências climáticas isso torna-se mais complexo, devido a ondas de calor e períodos de estiagem mais frequentes e intensos, impactando de forma mais severa as populações vulneráveis (Angelotti et al., 2024). A agricultura tem relevante contribuição na geração

de gases do efeito estufa. Segundo o IPCC, a agricultura, silvicultura e outros usos da terra correspondem ao segundo maior contribuinte para as emissões globais de gases de efeito estufa, sendo responsável por cerca de 22% das emissões em 2019 (IPCC, 2023).

A agricultura brasileira também enfrenta desafios de gestão técnica, com produtores e agentes do setor ainda dependentes de práticas tradicionais e uso intensivo de insumos químicos, além da baixa adoção de tecnologias digitais e manejo integrado. O acesso à informação deve ser democratizado, proporcionando um serviço social cujos impactos variam em intensidade conforme os sistemas de produção e o porte das propriedades (Embrapa, 2023b). Há também problemas relacionados ao solo e aos recursos naturais, como degradação, desequilíbrio nutricional e escassez hídrica (Embrapa, 2021b).

Nesse contexto, a evolução do setor depende da busca por alternativas sustentáveis que equilibrem os aspectos sociais, ambientais e econômicos. É fundamental aumentar a resiliência das plantas, reduzir perdas produtivas e promover tecnologias que melhorem a saúde do solo, reduzam as emissões de gases e o uso de insumos sintéticos, com o objetivo de tornar os sistemas agrícolas mais sustentáveis, assegurando maior segurança alimentar e econômica.

## **1.2. Histórico dos bioinsumos no Brasil**

Com cerca de 70 anos de atuação no Brasil, os bioinsumos oferecem soluções inovadoras para antigos problemas agrícolas. Nos últimos anos, esses produtos têm se mostrado ferramentas essenciais para uma agricultura produtiva e sustentável, promovendo crescimento vegetal, disponibilidade de nutrientes e sanidade das plantas. Integrados a diferentes sistemas produtivos, da agricultura e pecuária às etapas de pós-colheita e processamento, incluem microrganismos (vírus, bactérias e fungos), macro-organismos (insetos benéficos, predadores e parasitoides), serviços ecossistêmicos como polinização, semioquímicos (feromônios), bioquímicos, probióticos, suplementos para rações, bioprodutos para controle de doenças em animais e pastagens, além de aditivos e insumos que interagem com a microbiota do solo, como pós de rocha e remineralizadores (Vidal et al., 2021).

Historicamente, nas primeiras décadas do século XX, diversas tentativas de importação e liberação de agentes de biocontrole de pragas no Brasil foram realizadas, mas sem sucesso (Parra, 2014; Fontes e Valadares-Inglis, 2019). O trabalho realizado por Parra (2014) apresenta detalhes do histórico do avanço do controle biológico brasileiro, e indica



um dos primeiros casos de sucesso do uso de biodefensivo no Brasil em 1967, utilizando uma espécie de joaninha *Neodusmetia sangwani* no controle biológico de cochonilha (*Antonina graminis*). Também indica que a aceleração na importação de espécies inimigos naturais, como parasitoides, predadores e patógenos ocorreu a partir do estabelecimento do sistema de quarentena em 1991, na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) em Jaguariúna, no estado de São Paulo. Para tal, os agentes eram importados com o objetivo de controlar pragas exóticas e, eventualmente, nativas, e que ao longo dos anos houve crescimento no uso de inimigos naturais nativos.

Atualmente, muitos agentes de controle biológico são conhecidos para várias culturas, como os parasitoides *Cotesia flavipes* e a *Trichogramma galloi*, os entomopatógenos *Bacillus thuringiensis* e *Beauveria bassiana*, o semioquímico proveniente do feromônio da mariposa *Cydia pomonella*, entre outros (Parra et al., 2014; Fontes e Valadares-Inglis, 2019). Alguns exemplos podem ser destacados, como as formulações de *B. thuringiensis* utilizadas no controle de lagartas de insetos, como por exemplo *Spodoptera frugiperda* e *Helicoverpa armigera*, bem como produtos à base de *Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Baculovirus anticarsia* e *Trichoderma harzianum*, empregados no manejo de diferentes pragas agrícolas, doenças e até nematoides (Fontes e Valadares-Inglis, 2019). Ressalta-se também o uso de *Deladenus siricidicola* no controle do vespeiro-da-madeira (*Sirex noctilio*) em povoamentos de Pinus (Alves; Lopes, 2008; Fontes e Valadares-Inglis, 2019). Em 2025, um novo bioinseticida foi lançado no Brasil, formulado com uma linhagem de *Baculovirus spodoptera multiple nucleopolyhedrovirus* (SfMNPV), que mostrou eficácia no controle da lagarta-do-cartucho (*Spodoptera frugiperda*) em testes realizados no campo (Embrapa 2021c). Da mesma forma, um biofungicida, formulado com cepa bacteriana *Paenibacillus ottowii*, foi aprovado e liberado para controlar fungos de solo, como *Fusarium spp*, *Macrophomina phaseolina* e *Colletotrichum graminicola* causadores de podridão de raízes e caule em plantações de milho, soja e outras culturas, por todo o Brasil, com eficiência média de 80% (Diniz et al., 2025; Embrapa, 2025a). O Brasil é considerado líder de produção e aplicação de agentes de controle biológico na agricultura, sendo que mais de **70 milhões de hectares no Brasil foram beneficiados** por esses produtos em 2022, protegendo principalmente as culturas de soja, milho, cana-de-açúcar e café (Bettiol e Medeiros 2023).

Os primeiros estudos de microrganismos utilizados como inoculantes datam de 1920. Porém, a partir da década de 1960 que esses insumos ganharam destaque com estudos que demonstraram o efeito positivo dos microrganismos na nutrição vegetal, sobretudo as bactérias fixadoras de N em soja (Hungria e Nogueira, 2022; Vermelho et al., 2025).

Nessa época, quando ainda prevalecia o ceticismo quanto ao potencial da fixação biológica de nitrogênio (FBN) em competir com fertilizantes minerais, iniciou-se um programa pioneiro (Comissão Nacional da Soja) voltado à superação das limitações da FBN em leguminosas tropicais e demonstrar que era possível estabelecer simbioses altamente eficientes com rizóbios, eliminando a necessidade de fertilizantes nitrogenados na cultura da soja (Hungria e Nogueira, 2022; Vermelho et al., 2025). O Brasil avançou nessa temática em 1980, uma vez que estabeleceu um arcabouço legal que fornecia diretrizes para a seleção de microrganismos e o desenvolvimento e registro de produtos inoculantes, estabelecendo a Rede de Laboratórios para recomendação, padronização e difusão da tecnologia de inoculantes microbianos de interesse agrícola (RELARE) (Hungria e Nogueira 2022). Esses eventos não apenas promoveram a adoção em larga escala da FBN, mas também estabeleceram as bases para a expansão de outros bioinsumos, alinhando a agricultura brasileira às práticas mais sustentáveis e competitivas no cenário internacional. O uso de rizóbios em larga escala é consolidado no Brasil, com destaque para *Bradyrhizobium diazoefficiens*, *B. elkanii* e *B. japonicum* em soja, bem como *Rhizobium tropici* em feijão, o que proporcionou significativa redução nos custos de produção e consolidou a competitividade da soja brasileira no mercado internacional. A FBN combina sustentabilidade ambiental e ganhos econômicos, sendo destaque entre os bioinsumos no Brasil; em 2022, a prática em lavouras de soja gerou cerca de R\$ 72 bilhões, 89% a mais que em 2021 (Embrapa, 2025b).

Dentro da temática de nutrição de plantas, estudos envolvendo plantas não leguminosas associadas com bactérias promotoras de crescimento se estenderam, sendo que espécies importantes foram caracterizadas e tornaram-se grandes casos de sucesso na agricultura brasileira, como *Azospirillum brasilense*, *Nitrospirillum amazonense*, *B. megaterium*, *B. subtilis*, *Pseudomonas* sp. entre outras (de Andrade et al., 2023; Vermelho et al., 2025). As cepas de *A. brasilense* AbV5 e Ab-V6 foram lançadas como inoculante comercial para milho e trigo em 2009 (Hungria e Nogueira, 2022), sendo que em seguida outras culturas também foram beneficiadas por elas, como braquiária, feijão e soja. Com potencial associativo, essas cepas podem melhorar a capacidade produtiva das culturas por promover o crescimento vegetal por mecanismos hormonais, cujo incremento em produtividade média do milho é de aproximadamente 26% e de trigo 31% (Hungria. 2011). Além disso, inoculações simples ou combinadas de *A. brasiliense* AbV5 e Ab-V6 com rizóbios em leguminosas potencializam a FBN e promovem o crescimento vegetal, o que pode resultar em ganhos de produtividade 15 e 8% em soja e feijão, respectivamente (Chibeba et al., 2015; Galindo et al., 2022). O primeiro produto comercial registrado para a coinoculação da soja surgiu em 2013, apresentando resultados expressivos. Em comparação à inoculação

apenas com *Bradyrhizobium spp.*, observou-se aumento médio de 11% na massa de raízes, 5,4% no número de nódulos, 10,6% na massa de nódulos, 3,6% no rendimento de grãos e 3,2% no teor de N nos grãos (Barbosa et al., 2021).

Em 2019, um novo inoculante foi desenvolvido pela Embrapa e parceiros, voltado para a solubilização biológica de fosfatos (SBF). Formulado com as cepas *B. subtilis* B2084 e *B. megaterium* B119, tornou-se o primeiro inoculante brasileiro para P autorizado para as culturas de milho (2019) e, posteriormente, para soja (2021) (Oliveira-Paiva et al., 2024). Capazes de solubilizar e mineralizar fosfato e promover o crescimento vegetal, essas cepas têm demonstrado resultados significativos na agricultura brasileira, contribuindo para a redução da dependência de fertilizantes importados, alinhando-se às metas de sustentabilidade e descarbonização da agricultura nacional. Em 2023, o inoculante contendo a bactéria *B. aryabhattai* foi desenvolvido também pela Embrapa para proteger as plantas, como milho, soja e trigo, contra os efeitos da seca e do calor, ao hidratar as raízes e estimular o crescimento.

Toda a trajetória brasileira relacionada aos bioinsumos veio acompanhada de uma aliança histórica entre pesquisa, especialmente da Embrapa e da indústria de inoculantes, que não apenas promoveu o avanço do conhecimento sobre microrganismos benéficos, mas também desenvolveu formulações mais eficientes e de alta qualidade, capazes de garantir maior viabilidade, persistência e eficiência agronômica.

## 2. Regulamentação dos bioinsumos no Brasil

### 2.1. Produtos biológicos conforme a legislação brasileira

O conceito de bioinsumos pode variar dependendo do país, sendo que no Brasil ele é caracterizado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) como produtos, processos ou tecnologias de base biológica destinados ao uso em sistemas de produção agrícola, florestal, aquícola e pecuário, abrangendo inoculantes, biofertilizantes, biodefensivos, agentes de controle biológico e bioativos. A FAO apresenta um conceito similar, sendo os bioinsumos produtos de origem biológica, incluindo microrganismos, macro-organismos e substâncias naturais, capazes de melhorar a produtividade agrícola de forma sustentável.

No Brasil, de acordo com o Programa Nacional de Bioinsumos (Brasil, 2020), os bioinsumos são didaticamente divididos em quatro grandes grupos: produtos fitossanitários ou defensivos biológicos, biofertilizantes, inoculantes e bioestimulantes (Figura 1).

Os defensivos biológicos correspondem ao grupo voltado ao controle biológico de pragas e doenças, contribuindo para a manutenção da sanidade vegetal. Incluem produtos como biofungicidas, bioinseticidas, bionematicidas, entre outros (Lei nº 7.802/1989 (Lei dos Agrotóxicos) (Brasil, 1989). De forma geral, podem ser formulados a partir de antagonistas naturais de pragas, denominados agentes biológicos, como ácaros, insetos, nematoides, bactérias, fungos, vírus ou protozoários, bem como substâncias de controle como os semioquímicos (feromônios e aleloquímicos) ou ainda de produtos bioquímicos, como hormônios, enzimas e reguladores de crescimento.

Os biofertilizantes, em alguns países equiparados aos inoculantes, possuem no Brasil uma definição distinta e mais abrangente. Nessa concepção, enquadram-se como uma categoria composta por componentes e/ou substâncias orgânicas ativas, de origem microbiana, vegetal ou animal, que visam melhorar a produtividade e a qualidade das plantas, com ênfase no aporte nutricional (Brasil, 2020). Por outro lado, os inoculantes são produtos exclusivamente formulados por microrganismos vivos (bactérias e fungos) favoráveis à

promoção de crescimento vegetal e nutrição de plantas. Por fim, os bioestimulantes, são substâncias como extratos vegetais, algas, ácidos húmicos, aminoácidos, entre outros, que podem trazer melhorias em aspectos fisiológicos da planta.

**Figura 1** – Categorias da bioinsumos de acordo com a base conceitual do Programa Nacional de Bioinsumos do Ministério da Agricultura e Pecuária do Brasil

| Bioinsumos – Conceitos  |                                                                                                           |                                                                                           |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Categoria               | Composição                                                                                                | Função                                                                                    |
| <b>Biofertilizantes</b> | Substâncias orgânicas ativas, de origem microbiana, vegetal ou animal                                     | Melhorar produtividade e qualidade das plantas, com ênfase no aporte nutricional          |
| <b>Inoculantes</b>      | Produtos formulados exclusivamente com microrganismos benéficos                                           | Ênfase na nutrição de plantas e promoção de crescimento vegetal                           |
| <b>Biodefensivos</b>    | Agentes biológicos (bactérias, fungos, vírus, ácaros), semioquímicos (feromônios, aleloquímicos), outros. | Controle biológico de pragas e doenças (biofungicidas, bioinseticidas, bionematicidas)    |
| <b>Bioestimulantes</b>  | Extratos vegetais, algas, ácidos húmicos, aminoácidos                                                     | Melhorias em aspectos fisiológicos da planta (crescimento, tolerância a estresses, vigor) |

Fonte: Lei dos Bioinsumos nº 15.070/2024.

## 2.2. Histórico legal dos bioinsumos no Brasil

A adoção dos bioinsumos aumentou significativamente no Brasil nos últimos anos. Contudo, sua regulamentação até 2024 era genérica, inserida na Lei dos Agrotóxicos (nº 7.802/1989), criada para defensivos agrícolas, fertilizantes ou produtos de controle biológico. Porém, essa abordagem não refletia as especificidades técnicas e os benefícios dos bioinsumos, fato que gerava insegurança jurídica e dificuldades para o setor agropecuário. Além disso, conceitos importantes sobre biofertilizantes e inoculantes eram indicados em outra lei, denominada Lei dos Fertilizantes (Lei nº 6.894/1980), que pouco se diferenciava dos fertilizantes químicos, o que resultava em uma definição genérica que não contemplava as particularidades técnicas e funcionais dos insumos biológicos.



O avanço para uma regulamentação mais adequada foi incentivado pelo governo brasileiro em 2020, com a criação do **Programa Nacional de Bioinsumos** (Decreto nº 10.375/2020). A partir dessa iniciativa, juntamente com a tramitação de dois projetos de lei (PL 658/2021 e PL 3668/2021), foi instituído o **Marco Legal dos Bioinsumos no Brasil**, impulsionando o setor. O programa tinha como objetivos ampliar a oferta de bioinsumos, reduzir a dependência de insumos sintéticos, estimular a inovação, promover a bioeconomia e incentivar a produção de alimentos mais saudáveis, beneficiando o setor agropecuário com maior produtividade e melhoria da qualidade (Brasil, 2020).

### 2.3. Marco legal dos bioinsumos

Em 2024 foi aprovada a Lei nº 15.070/2024 (Brasil, 2024), que regulamenta de forma específica os bioinsumos. Denominada Lei dos Bioinsumos, ela estabelece diretrizes para todas as etapas relacionadas ao setor, incluindo produção, importação, exportação, registro, comercialização, uso, fiscalização, pesquisa, experimentação, embalagem, rotulagem, propaganda, transporte, armazenamento, destinação de resíduos e incentivos à produção para uso agrícola, pecuário, aquícola e florestal. Trata-se de um marco histórico, que insere o país entre os protagonistas mundiais na produção e no uso de bioinsumos.

A **Lei dos Bioinsumos** trouxe uma regulamentação específica para os bioinsumos, solucionando diversos problemas do modelo regulatório anterior, estimulando a inovação, fortalecendo os mecanismos de fiscalização e promovendo a sustentabilidade do setor (Brasil, 2024). A legislação busca promover a inovação no setor, oferecendo segurança jurídica para investimentos e desenvolvimento de novas tecnologias, além de simplificar e agilizar o registro de bioinsumos, especialmente aqueles destinados à agricultura orgânica e de baixo risco (Vermelho et al., 2025). Há também menção à isenção de registro, quando o bioinsumo é produzido para uso próprio nas propriedades rurais. Em relação aos conceitos, muitos deles foram atualizados, como os termos biofertilizantes, inoculantes e bioestimulantes, tratados de maneira genérica na antiga lei. De fato, a aprovação da Lei dos Bioinsumos efetiva a parceria do Brasil firmada com a ONU, alinhando os trabalhos de bioinsumos e fomentando o cumprimento das metas estabelecidas pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS 2,3,6,7,12,13,14 e 15).

## **2.4. Como é feito o registro de um defensivo microbiológico no Brasil?**

O registro de defensivos microbiológicos no Brasil é realizado por meio de um processo rigoroso avaliado por três órgãos federais: Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Para tanto, a partir de 2023, foi estabelecido que os procedimentos a serem adotados para o registro de produtos microbiológicos empregados na agricultura como bio defensivos serão realizados de maneira conjunta pelos órgãos MAPA, IBAMA e ANVISA (Vidal et al., 2021). De maneira geral, o processo inicia com a solicitação do registro e a apresentação de um dossiê técnico detalhado que inclui resultados de estudos sobre os efeitos do produto na saúde humana e no meio ambiente, seguidos por testes de campo para avaliar sua eficiência e impacto. Nesse caso, a ANVISA se responsabiliza por questões toxicológicas e segurança alimentar, o MAPA pela análise de dados de eficiência agrônômica do produto e o IBAMA pela classificação do potencial de periculosidade ambiental. A avaliação é simultânea, e somente após a aprovação de todos os órgãos a empresa recebe o certificado de registro, com rótulo e bula, que permite a comercialização do produto no mercado.

## **2.5. Como é feito o registro de um inoculante no Brasil?**

No caso dos inoculantes, a Instrução Normativa (IN) nº 53/2013 (Brasil, 2013) regulamenta o processo de registro e estabelece diretrizes complementares, sendo a validação competência exclusiva do MAPA. De forma geral, a IN nº 53/2013 estabelece muitos critérios envolvidos no processo de registro e comercialização de inoculantes ou outros insumos (fertilizantes, corretivos, biofertilizantes, remineralizadores, substrato para plantas e materiais secundários), além de especificar os requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica, bem como da elaboração do relatório técnico-científico necessário ao registro.

De acordo com a IN nº 53/2013, os ensaios experimentais podem ser conduzidos em condições de campo ou em ambiente controlado, como casa de vegetação. Os experimentos de campo devem ser conduzidos em regiões representativas do cultivo da cultura, em território nacional, abrangendo dois tipos de solos e duas safras, ou em quatro locais distintos em condições edafoclimáticas diversas, em uma única safra. Por outro lado, os experimentos em casa-de-vegetação devem ser conduzidos com pelo menos duas culturas distintas e, no mínimo, quatro repetições.

É obrigatório o registro, junto ao MAPA, de fertilizantes, inoculantes, corretivos, biofertilizantes e substratos para plantas, tanto para fins de produção, importação e comercialização desses insumos quanto para as pessoas físicas ou jurídicas responsáveis por tais atividades. Para tanto, além do requerimento de registro de produtos, devem ser apresentadas análises laboratoriais de caracterização do produto e um relatório de pesquisa, ambos vinculados a instituições de pesquisa credenciadas (Embrapa, Universidades, Centros de pesquisa, outros).

## **2.6. Visão técnica do desenvolvimento de bioinsumos no Brasil**

Questões de biossegurança e controle são necessárias para o desenvolvimento de bioinsumos no Brasil. Para tanto, é preconizado que microrganismos de interesse sejam oriundos de bancos de germoplasma devidamente registrados e de coleções oficiais credenciadas ao SISGEN/IBAMA. De maneira geral, um banco de germoplasma microbiano funciona como uma “biblioteca viva”, onde cepas são coletadas, preservadas, caracterizadas e disponibilizadas para pesquisa e inovação. Nessas condições, os microrganismos ficam acessíveis e conservados por longos períodos sem perder suas características genéticas e funcionais.

Para compor um banco de germoplasma são necessárias etapas técnicas importantes, como busca de microrganismos promissores e caracterizações funcionais e genéticas. De maneira resumida, o processo inicia-se pela bioprospecção, com coleta de amostras em diferentes ambientes (solo, rizosfera, raízes, folhas, água, entre outros). Em seguida, ocorre o isolamento de microrganismos de interesse em meios de cultura apropriados. A partir disso, etapas de caracterização funcional podem ser feitas, onde são avaliados mecanismos de interesse, como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfato, produção de fitormônios, antibióticos e enzimas, assim como a identificação taxonômica. Essas informações são registradas, incluindo sua origem, características fenotípicas e potenciais usos, e disponibilizadas nos bancos de germoplasma.

Aqueles microrganismos de interesse e com potencial uso como bioinsumos devem ser testados em casa de vegetação e campo para comprovar a eficiência agrônômica. Os testes de campo seguem as normas do MAPA (Brasil, 2013), sendo conduzidos em diferentes regiões e safras, sendo possível avaliar a produtividade, o uso de nutrientes, a tolerância a estresses e o controle de patógenos. As etapas subsequentes envolvem os testes de formulação, que buscam garantir a viabilidade e estabilidade do microrganismo durante

o prazo de validade, por meio da definição do veículo (líquido, pó, grânulo, gel, cápsula), da adição de protetores ou nutrientes e das condições de armazenamento (Bashan et al., 2014). Após definir a formulação, os microrganismos são cultivados em biorreatores controlados (aeração, temperatura, pH e nutrientes), escalando de laboratório a unidades industriais, com testes de qualidade para garantir concentração, pureza, viabilidade e ausência de contaminantes. Além disso, o produto deve atender às exigências regulatórias de órgãos como MAPA, Anvisa e IBAMA, incluindo registros, laudos de segurança e comprovação de eficácia. Todo o processo é complexo e pode levar de 8 a 10 anos até a finalização e comercialização.

No entanto, está dispensado de registro a produção caseira de inoculantes, denominada *on farm*<sup>1</sup>, autorizada e regulamentada apenas para uso próprio, permanecendo vedada para fins comerciais (Brasil, 2024). Para esse fim, o produtor deve seguir as boas práticas definidas pelo órgão federal de defesa agropecuária. Ressalta-se ainda que somente podem ser utilizadas cepas provenientes de bancos de germoplasma credenciados ou de produtos registrados especificamente para essa finalidade, sendo proibido o uso de produtos comerciais como fonte de inóculo.

---

<sup>1</sup> Sobre a produção de bioinsumos *on farm* veja capítulo 5.

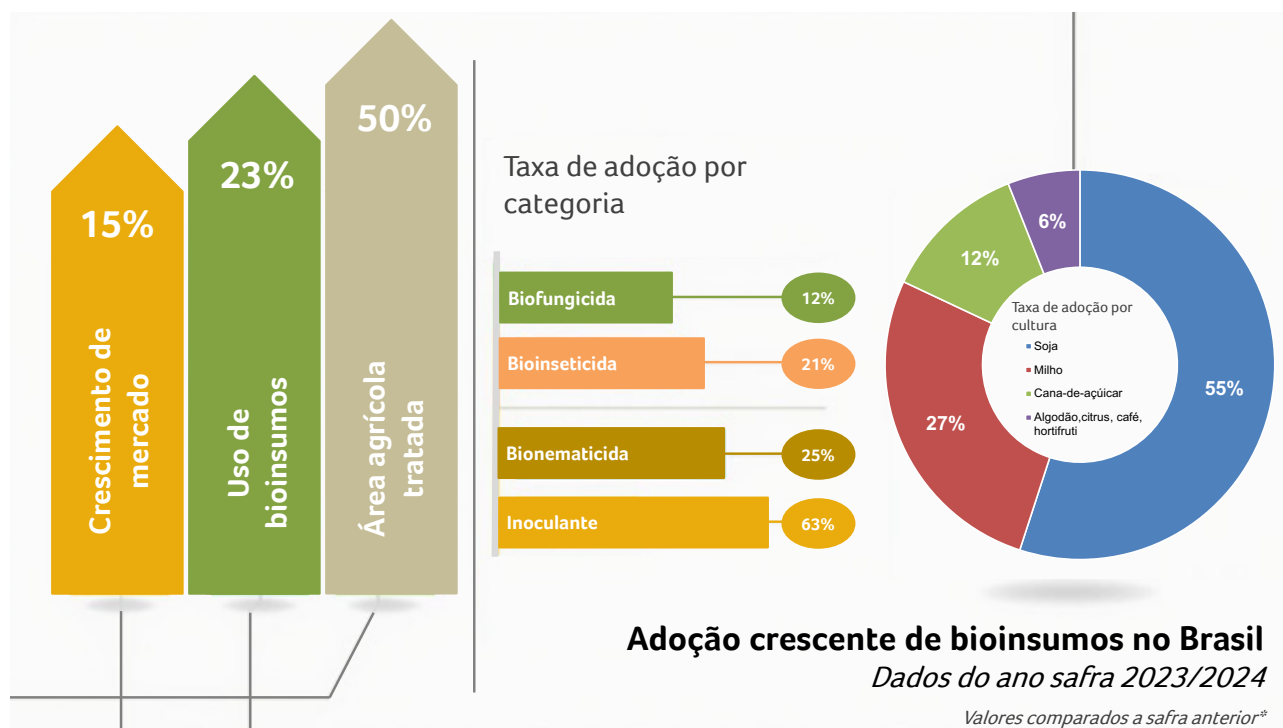
### 3. Tendências do mercado brasileiro de bioinsumos

O mercado de bioinsumos vem apresentando um crescimento expressivo nos últimos anos. Em 2023, o mercado global foi estimado entre US\$ 13 a 15 bilhões, abrangendo controle biológico, inoculantes e bioestimulantes (Croplife Brasil, 2024b). Projeta-se que, até 2032, o setor cresça a uma taxa anual de até 14%, atingindo cerca de US\$ 45 bilhões, impulsionado principalmente pela maior adoção de bioinsumos nos Estados Unidos, Europa e no Brasil, que figura entre os líderes mundiais em utilização.

No cenário nacional, a criação do Programa Nacional de Bioinsumos e seu Conselho Estratégico consolidou o Brasil em uma posição estratégica: reduzir a dependência de insumos importados e, ao mesmo tempo, explorar de forma sustentável o potencial da biodiversidade nacional. Essa estratégia converge com a crescente demanda de produtores e agroindústrias por sistemas de produção mais sustentáveis. Nesse contexto, o mercado brasileiro de bioinsumos tem apresentado expansão acelerada. Estudo encomendado pela CropLife Brasil (2024b) apresenta alguns indicadores importantes do crescimento do setor. Considerando os anos de 2021 a 2023, o setor cresceu a uma taxa média anual de 21%, quatro vezes acima da média global. **Na safra 2023/2024, a indústria avançou cerca de 15% em relação à safra anterior**, movimentando aproximadamente R\$ 5 bilhões, e a taxa de adoção dos bioinsumos aumentou no período (Figura 2).



**Figura 2** – Dados do crescimento do uso de bioinsumos no Brasil no ano safra de 2023/2024  
(Adaptado de CropLife Brasil, 2024).



Fonte: elaboração dos autores.

De fato, os registros de bioinsumos no Brasil apresentaram o maior crescimento da série histórica dos últimos 23 anos (2000-2022), superando a evolução observada em outros insumos químicos. Até 2025, o país contabiliza **786 produtos registrados para controle de pragas e 747 inoculantes**. No caso dos inoculantes, 44 culturas agrícolas são contempladas. Destes registros, 458 registros estão voltados exclusivamente à soja, evidenciando a relevância dessa cultura na adoção de tecnologias biológicas de acordo com o aplicativo Bioinsumos desenvolvido pela Embrapa e MAPA (Embrapa, 2025c). Esse movimento no setor é impulsionado por empresas e startups, que aumentaram sua presença no Brasil. Por exemplo, segundo a Associação Nacional dos Produtores e Importadores de Inoculantes (ANPII, 2020), aproximadamente 97% dos inoculantes utilizados no Brasil em 2021 eram produzidos nacionalmente por 36 empresas registradas, número que aumentou para 63 em 2025 (Policarpo et al., 2025).

Esse avanço reflete a mudança estratégica das empresas de insumos agrícolas, que vêm desenvolvendo soluções alinhadas às demandas do agronegócio e dos consumidores por segurança alimentar e sustentabilidade. Com um ambiente regulatório mais favorável, aumentam os investimentos em novas tecnologias e a capacidade produtiva, oferecendo aos agricultores uma maior diversidade de produtos biológicos, capazes de substituir ou complementar agrotóxicos e fertilizantes químicos.

## 4. Desafios para a produção e avanço dos bioinsumos no Brasil

O Brasil é referência mundial em bioinsumos. Entretanto, ainda enfrenta desafios significativos de ordem logística e burocrática que dificultam o desenvolvimento de novos produtos. Esses entraves abrangem desde a complexidade do processo de registro e a insuficiência de infraestrutura até a falta de condições adequadas para a produção *on farm*.

O processo de registro de bioinsumos é fundamental para assegurar a rastreabilidade, a segurança e a eficácia desses produtos. Entretanto, a burocracia envolvida, somada à lentidão e aos elevados custos dos procedimentos, constitui uma barreira significativa para que soluções inovadoras cheguem ao mercado, especialmente no caso de novos empreendedores, pequenas empresas e startups (Sambuichi et al., 2024). Como alternativa, a Lei dos Bioinsumos prevê a dispensa de registro para a produção destinada ao uso próprio e estabelece tratamento diferenciado para produtos oriundos da agricultura familiar, povos indígenas e comunidades tradicionais, representando um avanço importante na redução de entraves burocráticos para grupos menos favorecidos. Ainda assim, persiste a necessidade de regulamentar de forma mais precisa os critérios técnicos e operacionais aplicáveis a cada tipo de produto e contexto de uso, de modo a contemplar tanto as grandes cadeias produtivas quanto as de menor escala, incluindo os sistemas orgânicos e agroecológicos (Policarpo et al., 2025).

As questões regionais constituem um fator estratégico para a expansão da produção de bioinsumos no Brasil. Isso ocorre, pois, a maior parte das empresas comerciais do setor está concentrada nas regiões Sul e Sudeste, o que limita a presença e o crescimento em outras áreas do país que possuem grande potencial, dada sua biodiversidade ainda pouco explorada e suas demandas agrícolas específicas (Policarpo et al., 2025). Considerando que o Brasil apresenta condições climáticas e produtivas distintas, torna-se essencial fomentar pesquisas e incentivar a criação de pequenas e médias empresas, bem como startups, em regiões menos atendidas. Essas iniciativas devem ser articuladas a melhorias de infraestrutura e o acesso a linhas de crédito.

No entanto, a produção de bioinsumos é uma atividade complexa que exige laboratórios bem equipados, sistemas de fermentação avançados, rígidos protocolos de controle de qualidade e suporte adicional em termos de tecnologias, mão de obra qualificada e ecossistemas de inovação. Muitas regiões brasileiras, especialmente as mais remotas e menos desenvolvidas, não dispõem dessa infraestrutura mínima, seja por limitações logísticas, operacionais ou de capacitação (Sambuichi et al., 2024). Nesse cenário, a integração entre políticas públicas e investimentos privados apresenta-se como alternativa estratégica e robusta para superar tais desafios e promover o desenvolvimento regional equilibrado do setor.

## 5. Desafios da produção *on farm*

Os produtos *on farm* são uma alternativa para superar os desafios relacionados à democratização do uso de bioinsumos no Brasil. Contudo, a sua produção apresenta desafios relevantes relacionados às boas práticas de produção, à segurança e à garantia de eficiência. A qualidade dos produtos *on farm* é um ponto de atenção, uma vez que a ausência de protocolos padronizados pode resultar em variações indesejáveis e em produtos de baixa eficácia (Lana et al., 2019; Lana et al., 2022; Bocatti, 2022; Policarpo et al., 2025). A adoção de condições adequadas de produção, como o controle de temperatura, pH, oxigênio e ambiente asséptico, é fundamental para assegurar maior estabilidade e segurança, reduzindo riscos de contaminação por microrganismos patogênicos e perdas de produtividade agrícola.

Um comparativo importante deve ser estabelecido entre bioinsumos *on farm* e bioinsumos comerciais. No Brasil, os bioinsumos comerciais empregam microrganismos de risco biológico 1 e seguem rígidos padrões de controle de qualidade para evitar contaminações. Por exemplo, os inoculantes não podem apresentar contaminantes mesmo quando submetidos a uma diluição de 1 parte do produto para 100.000 partes de solvente (diluição de  $1 \times 10^{-5}$ ) (Brasil, 2010), sendo que eventuais contaminações inviabilizam a comercialização dos lotes desses produtos. Estudos da Embrapa por Bocatti (2022) revelaram que inoculantes *on farm* à base de *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, coletados em diferentes regiões do Brasil, apresentaram 100% de contaminação por microrganismos, sendo 44% com potenciais patógenos humanos (*Enterobacter*, *Klebsiella*, *Staphylococcus*, *Acinetobacter*) e um terço resistentes a antimicrobianos. Resultados semelhantes foram observados em bioinseticidas *on farm* à base de *B. thuringiensis* (Lana et al., 2019). Da mesma forma, alterações na concentração do ingrediente ativo (microrganismo ou metabólito) compromete a eficiência do produto por sub ou superdosagem. A exemplo, doses elevadas de *A. brasilense*, PGPR (*Plant Growth Promoting Rhizobacteria*, PGPR, acrônimo em inglês) com alta capacidade de produção de fitormônios, podem gerar efeito contrário ao esperado, limitando o desenvolvimento da planta e causando prejuízos (Fukami et al., 2016). Nesse sentido, se por um lado os produtos comerciais precisam seguir processos rígidos para registro, na produção *on farm*, não existe nenhuma obrigatoriedade quanto ao controle de qualidade e, conseqüentemente, pode haver grande variação nos processos de produção.

Não há estimativas oficiais da prática *on farm* em bioinsumos no Brasil, embora empresas do setor de biológicos tenham indicado que o uso de produtos sem registro comercial chega a 8% do total no país. Na realidade atual, os produtores adquirem produtos comerciais e os utilizam como inóculo inicial (microrganismos vivos para serem propagados ou repicados). O crescimento dos inóculos ocorre dentro de “tanques” pouco apropriados, muitas vezes a céu aberto. Poucas propriedades agrícolas adotam protocolos técnicos adequados, e a necessidade de consultorias e equipamentos especializados torna o processo oneroso e, muitas vezes, inviável para a maioria dos produtores. De fato, embora a Lei dos Bioinsumos preveja a possibilidade da produção *on farm*, ainda não há uma definição clara e consolidada de boas práticas específicas para esse tipo de produção. Isso atrelado ao acesso limitado à informação e à escassez de profissionais qualificados evidencia a necessidade de programas de capacitação, cursos de formação e iniciativas de extensão rural para todos os envolvidos nessa temática (Embrapa, 2023a; Policarpo et al., 2025).

Essa realidade gera uma desigualdade estrutural entre grandes e pequenos produtores: enquanto os primeiros dispõem de recursos financeiros e infraestrutura para contratar assistência especializada e profissionais capacitados, os pequenos agricultores encontram maiores dificuldades para acessar conhecimento técnico e implementar práticas seguras e eficientes (Policarpo et al., 2025). Nesse contexto, políticas públicas voltadas à capacitação, assistência técnica e democratização do acesso à informação tornam-se fundamentais para promover maior equidade e sustentabilidade no setor de bioinsumos.

Por atuar diretamente no desenvolvimento e aplicação de produtos biológicos na agricultura brasileira, a Embrapa tem alertado para a necessidade de regulamentação dessa atividade, bem como incentivado e orientado a produção em cooperativas ou associações de produtores, para que se tenha qualidade e condições de produção com assistência técnica (Embrapa, 2023a). A ausência de normas adequadas pode resultar no uso de insumos de baixa qualidade, comprometendo a credibilidade conquistada pelos produtos biológicos ao longo dos anos e representando riscos à saúde e ao meio ambiente.



## 6. Principais tendências e perspectivas futuras para o portfólio de bioinsumos brasileiros

Os bioinsumos não são meros substitutos ou complementos dos insumos químicos tradicionais, mas sim elementos fundamentais para um sistema produtivo mais equilibrado e eficiente. Trata-se de ferramentas que podem promover o aumento da produtividade de forma sustentável, assim como contribuir para a conservação dos recursos naturais e para a mitigação das mudanças climáticas. Nesse sentido, a demanda por microrganismos ou consórcios de microrganismos multifuncionais é crescente, visando ampliar os benefícios dos bioinsumos para muitas culturas. Isso levará à exploração de soluções mais integradas, visto que as estratégias de inoculação de cepa única são superadas por consórcios microbianos, onde várias cepas são combinadas para melhor eficácia e resiliência (Bargaz et al., 2014; Mitter et al., 2021; Gómez-Godínez et al., 2021).

A bioprospecção de microrganismos com potencial para promoção de crescimento vegetal e controle biológico tem se intensificado, impulsionada pelo aumento do interesse do mercado em soluções sustentáveis. Abordagens baseadas em genômica permitem acelerar a identificação e a disponibilização de novos bioinsumos comerciais, com destaque para startups que desenvolvem tecnologias inovadoras e disruptivas (Zvinavashe et al., 2021; Singh et al., 2025).

Os avanços recentes estão diretamente relacionados à maior capacidade de pesquisa e desenvolvimento para obtenção de uma nova geração de microrganismos baseada em ferramentas de biologia molecular e engenharia genética, além do foco na obtenção de metabólitos de interesse. Novas formulações que assegurem maior tempo de prateleira, resiliência ambiental, compatibilidade com químicos e tolerância a diversos estresses no campo, também são foco da pesquisa atual e de pesquisas futuras.

Ferramentas de biologia molecular, como CRISPR-Cas, permitem a edição direcionada de microrganismos, otimizando funções microbianas, como a solubilização de nutrientes e a síntese de compostos bioativos (Lee e Lee, 2021). Paralelamente, o melhoramento genético de plantas tem se voltado ao desenvolvimento de cultivares mais responsivas à interação com

microrganismos, utilizando estratégias de engenharia da rizosfera, genômica, transgenia e edição gênica (Zvinavashe et al., 2021; Singh et al., 2025). Uma linha promissora de pesquisa envolve biofertilizantes baseados em microbioma, embora desafios relacionados à estabilidade e ao desempenho em distintos solos, climas e sistemas agrícolas persistam. A validação em condições reais é essencial para a implementação bem-sucedida, sendo que os avanços em biologia sintética apresentam potencial para transformar a agricultura, promovendo simultaneamente produtividade e sustentabilidade (Singh et al., 2025).

Da mesma forma, o desenvolvimento de produtos fertilizantes enriquecidos com microrganismos benéficos também deverá aumentar, com agregação de valor ao produto final, assim como técnicas de encapsulamento microbiano diretamente nas sementes, reduzindo procedimentos de inoculação manual nas propriedades agrícolas. Além disso, práticas de manejo integrado de nutrientes são uma tendência importante na agricultura brasileira, que busca equilibrar fontes de nutrientes, práticas conservacionistas e bioinsumos, de modo a aumentar a eficiência produtiva e a sustentabilidade. Com isso, os bioinsumos, como os biofertilizantes, serão cruciais para aprimorar técnicas de nutrição vegetal e sustentabilidade agrícola, reduzindo custos e aumentando a produtividade. Exemplos de sucesso já estão em prática, com o objetivo de substituir total ou parcialmente a adubação nitrogenada em soja e outras culturas através da inoculação de rizóbios e *Azospirillum*. Além disso, visam aumentar o aproveitamento de fertilizantes pouco móveis no solo, como os fosfatados, através da aplicação de *Bacillus* e *Pseudomonas*, e até estimular a microbiota do solo e seus processos (ex: decomposição, mineralização) através da adubação verde e manutenção de restos culturais. Todas estas práticas conjuntamente contribuem também para a melhoria da qualidade do solo e maior resistência dos cultivos aos estresses climáticos futuros.

## 7. Casos de sucesso da pesquisa brasileira e potencial de mercado

### 7.1. Inovações da Embrapa em bioinsumos

A Embrapa é protagonista na pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos, fortalecendo o setor e proporcionando parcerias importantes para alavancar as soluções biológicas na agricultura. Dentro das inovações biológicas promovidas pela Embrapa, os inoculantes e biodefensivos são os mais conhecidos. A instituição dispõe de diversos bancos de germoplasma microbiano dedicados exclusivamente à preservação e caracterização de microrganismos, agentes de controle biológico de pragas e promotores de crescimento de plantas. Fazem parte da coleção da Embrapa aproximadamente 10 mil linhagens de bactérias, fungos e vírus controladores de pragas e doenças de plantas e mais de 14 mil linhagens de microrganismos promotores de crescimento de plantas (Embrapa, 2020). Por reconhecer a importância do tema, a Embrapa apresenta um portfólio de soluções biológicas específicas para muitas culturas brasileiras. Muitos produtos hoje no mercado são formulados com organismos pesquisados e desenvolvidos pela Embrapa e seus parceiros, como *B. bassiana*, *B. thurigiensis*, *Thichoderma spp.*, entre outras, sendo alguns exemplificados na tabela 1.

Da mesma forma, os biofertilizantes desenvolvidos pela Embrapa e parceiros são exemplos de sucesso e inovação agrícola, alinhando aumento de produtividade, redução de aplicação de fertilizantes e melhoria da promoção de crescimento das plantas. Na Tabela 2 são apresentadas algumas soluções biológicas de inoculantes e bioestimulantes.

**Table 1** – Exemplos de bio defensivos produzidos a partir de soluções biológicas da Embrapa.

| Inovação      | Agente / Tecnologia                                                      | Alvo                                                                                                                                                                | Principais Alvos               |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Biofungicida  | <i>Bacillus velezensis</i> (IM14) e <i>Paenibacillus ottowii</i> (LIS04) | Controla fungos de solo com até 80% de eficiência; aplicação em sementes                                                                                            | Milho, soja, grãos             |
| Biofungicida  | <i>Trichoderma</i> sp.                                                   | Mofo-branco ( <i>Sclerotinia sclerotinun</i> )                                                                                                                      | Soja, Algodão, outras culturas |
| Bioinseticida | Baculovírus                                                              | <i>Spodoptera frugiperda</i> , <i>Helicoverpa armigera</i> e <i>Chrysodeixis includens</i>                                                                          | Soja Milho Algodão, outras     |
| Bioinseticida | <i>Cordyceps javanica</i> (BRM27666)                                     | Controle da mosca-branca ( <i>Bemisia tabaci</i> )                                                                                                                  | Várias culturas                |
| Bioinseticida | <i>Metarhizium anisopliae</i>                                            | Cigarrinhas-das-pastagens (Hemiptera: Cercopidae)                                                                                                                   | Pastagem                       |
| Bioinseticida | <i>Trichogramma</i> spp.                                                 | Lagarta-do-cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> )                                                                                                                | Milho e outras culturas        |
| Bioinseticida | <i>Bacillus. thuringiensis</i>                                           | Lagarta-da-soja ( <i>Anticarsia gemmatilis</i> ), lagarta-falsa-medideira ( <i>Chrysodeixis includens</i> ) e lagarta-do-cartucho ( <i>Spodoptera frugiperda</i> ). | Soja, milho, outras culturas   |

Fonte: Embrapa: <https://www.embrapa.br/portofolio/insumos-biologicos>

**Tabela 2** – Tabela 2. Alguns exemplos de inoculantes e bioestimulantes produzidos a partir de soluções biológicas da Embrapa.

| Inovação                       | Agente / Tecnologia                                        | Benefício                                                                       | Principais Alvos                     |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Inoculante: PGPR               | <i>Azospirillum brasilense</i> Ab-V5 e Ab-V6               | Estimula enraizamento, fixação de N, outros.                                    | Milho, trigo, soja, outras culturas  |
| Inoculante: FBN                | <i>Bradyrhizobium</i> spp., <i>Rhizobium</i> spp.          | Fixação biológica de N.                                                         | Soja, feijão, outras leguminosas     |
| Inoculante: PGPR               | <i>Nitrospirillum viridazoti</i> BR11145                   | Incremento de biomassa, estimula enraizamento, fixação de N, outros.            | Cana-de-açúcar                       |
| Inoculante: solubilizador de P | <i>Bacillus megaterium</i> B119 e <i>B. subtilis</i> B2084 | Eficiência de uso de P, disponibilidade de P no solo, desenvolvimento radicular | Milho, soja, cana-de-açúcar, outros. |
| Inoculante PGPR                | <i>Bacillus aryabhattai</i> CMAA 1363                      | Mitigar os efeitos do estresse hídrico nas plantas, promoção de crescimento.    | Soja, milho, trigo, outros.          |
| Inoculante PGPR                | <i>Bacillus subtilis</i> BRM 1A11                          | Mitigar os efeitos do estresse hídrico nas plantas, promoção de crescimento     | Soja, outros.                        |

| Inovação                        | Agente / Tecnologia | Benefício                                                                                           | Principais Alvos |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Bioestimulante: função hormonal | Nanopartículas de C | Estímulo ao enraizamento e fotossíntese, incremento de produtividade                                | Tomate e morango |
| Bioestimulante                  | Extrato vegetal     | Aumento da produtividade e da qualidade de grãos, desenvolvimento radicular e da microbiota do solo | Milho e soja     |

Fonte: <https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos>

A Embrapa busca ampliar o uso de insumos biológicos no controle de pragas, promoção do crescimento, fornecimento de nutrientes, substituição de antibióticos e aplicações agroindustriais em sistemas convencionais e ecológicos. Essa atuação torna a pesquisa e desenvolvimento de bioinsumos dinâmica, impulsionando a busca por novas soluções e também a compartilhar informações importantes para produtores e outros agentes do setor, com o objetivo de democratizar a informação sobre essa temática.

## 7.2. Case 1: Primeiro solubilizador de fosfato brasileiro (BiomaPHOS)

Em um cenário de custos de produção elevados devido ao aumento dos preços de fertilizantes, o lançamento do **BiomaPHOS** em 2019 gerou grandes expectativas. Foi o primeiro inoculante específico para solubilização biológica de fosfato produzido no Brasil por meio de uma parceria público-privada entre a Embrapa e a empresa Bioma (Oliveira-Paiva et al., 2009; Oliveira-Paiva et al., 2024).

Durante a fase de pesquisa e desenvolvimento, iniciada em 2002, a Embrapa coletou e caracterizou aproximadamente 1200 isolados de microrganismos solubilizadores de fosfato. Esses isolados foram submetidos a inúmeros ensaios em laboratório, casa de vegetação e campo com o objetivo de identificar as cepas mais eficientes em solubilizar o fosfato no solo. Resultados desta fase inicial foram publicados em 2009 na revista “Soil Biology and Biochemistry” (Oliveira et al., 2009). A escolha de cepas do gênero *Bacillus* iniciou a fase intensiva de desenvolvimento do inoculante nas condições de campo, em 2011, seguida pelo estabelecimento da parceria com a empresa Bioma, em 2016, e culminou com o lançamento do produto comercial BiomaPHOS, em 2019. Nesse período, vários experimentos de campo foram realizados usando diferentes formulações, formas de aplicação e concentrações do produto biológico, em regiões distintas do país e para diferentes culturas (milho, soja e algodão).

O BiomaPhos apresenta na sua formulação as cepas de *B. megaterium* CNPMS B119, isolada da rizosfera de plantas de milho, e a cepa de *B. subtilis* CNPMS B2084, caracterizada como endofítica (vivem no interior das plantas, sem causar aparentemente dano a seus hospedeiros) de milho. Avaliadas principalmente pela capacidade de aumentar a mobilização e absorção de fósforo (P) pelas plantas, são também consideradas multifuncionais, capazes de produzir ácidos orgânicos, fitormônios, enzimas fosfatases, biofilmes e sideróforos (Sousa et al., 2020; Oliveira-Paiva et al., 2024). Basicamente, esses mecanismos garantem com eficiência a solubilização biológica de fosfato, mineralização de P e aumento da área radicular da planta, refletindo alta produtividade de milho (Sousa et al., 2020; Velloso et al., 2021; Oliveira-Paiva et al., 2024). Além disso, a capacidade de formar endósporos confere alta resistência a variações ambientais, uma característica de grande interesse também do ponto de vista industrial (Oliveira-Paiva et al., 2024). Outro ponto relevante é



a ausência de efeitos antagônicos entre as cepas que formulam o BiomaPHOS e os inoculantes comerciais formulados com *Azospirillum* e *Bradyrhizobium*, permitindo o uso conjunto quando necessário (Oliveira-Paiva et al., 2024).

Inicialmente lançado para inoculação de milho, o BiomaPHOS apresentou evolução de uso, com a área tratada aumentado de **228 mil hectares na safra de 2018/2019 para quase 4 milhões na safra de 2022/2023** (Embrapa, 2024b), com um aumento entre 11 e 24% na produtividade média e de 12 a 20% no conteúdo de P no grão (Oliveira-Paiva et al., 2024). A promessa é que a utilização contínua do inoculante pode permitir reduzir gradativamente a aplicação de fertilizantes fosfatados, dependendo do monitoramento do estado nutricional das culturas ao longo das safras. Essa abordagem contribui não apenas para a sustentabilidade do sistema produtivo, mas também para a redução de custos e impactos ambientais. Um levantamento recente sobre a contribuição do BiomaPHOS na cultura de soja indica que a adoção dessa tecnologia poderia gerar ganho de produtividade de aproximadamente **R\$ 28,5 bilhões por safra, com uma economia de até R\$ 15,7 bilhões em redução de custos fertilizantes e reduções** nas emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a descarbonização da agricultura brasileira em até R\$ 1 bilhão (Caligaris et al., 2025).

O modelo de parceria público-privada ampliou a escalabilidade da distribuição nacional e internacional das cepas. Para tanto, há produtos específicos para a cultura da cana-de-açúcar e para soja, recomendados para tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido no sulco de semeadura. Nesse caso, o BiomaPHOS e seus clones (produto recomendado para outras culturas e com nomenclatura distinta por razões mercadológicas), não só têm justificado financeiramente o investimento para a sociedade brasileira como tem trazido grande visibilidade para a Embrapa no País e no exterior.

Dentro dessa temática, a internacionalização da comercialização do produto brasileiro é outro diferencial da estratégia mercadológica da Embrapa e seus parceiros. Nos últimos anos o BiomaPhos extrapolou o mercado nacional e chegou no exterior, nomeado internacionalmente como SolubPhos. Desde 2022, os Estados Unidos obtiveram a liberação para uso da tecnologia em 14 estados. Em 2024, o produto foi registrado na Alemanha, Canadá, Argentina, Paraguai, Bolívia e Costa Rica e atenderá o mercado desses países a partir de 2026.

### 7.3. Case 2: Biofungicida para doenças de solo

Uma inovação no mercado de bioinsumos foi lançado em 2025, denominada como Eficaz Control. Desenvolvido pela Embrapa em parceria com a empresa Simbiose, foi oficialmente registrado no MAPA. Esse biofungicida apresenta um efeito inovador ao ser o primeiro produto no mercado contendo uma cepa do microrganismo *Paenibacillus ottowii*. Essa tecnologia representa uma inovação biológica no controle de *Fusarium verticillioides*, fungo de ampla distribuição geográfica, comumente associado à deterioração de sementes e aos danos causados à cultura do milho (Diniz et al., 2025; Embrapa, 2025a).

A tecnologia é resultado de nove anos de pesquisas, iniciadas em 2016, envolvendo um rigoroso processo de isolamento e seleção de 190 microrganismos oriundos de estigmas de milho e sementes de sorgo. Esses isolados foram testados quanto à capacidade de inibir o crescimento e o desenvolvimento de fungos fitopatogênicos, especialmente *F. verticillioides*, além da habilidade de promover o crescimento vegetal (Diniz et al., 2025). Nesse processo, duas cepas bacterianas se destacaram: *P. ottowii* BRM053425 (LIS04) e *B. velezensis* BRM046334 (IM14) e fazem parte da formulação do biofungicida Eficaz Control. A cepa *P. ottowii* BRM053425 (LIS04) foi isolada de sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) coletadas no bioma Cerrado, com a capacidade de produzir metabólitos secundários como as fusaricidinas, reconhecidas por sua potente atividade antifúngica (Diniz et al., 2025). A cepa *B. velezensis* BRM046334 (IM14) é endofítica de milho (*Zea mays* L.), isolada de estigmas, proveniente da região do Cerrado. Destaca-se pela produção de lipopeptídeos como fengicina, iturina e surfactina, além de enzimas hidrolíticas como celulase, pectinase, protease e quitinase, compostos bioativos associados à atividade antifúngica (Diniz et al., 2025).

A compatibilidade entre as duas cepas permitiu sua formulação combinada, resultando em sinergismo entre os mecanismos de ação e maior eficácia no controle de doenças, como a fusariose do milho. Como resultado, o tratamento com Eficaz Control promoveu uma incidência de *F. verticillioides* abaixo do limite de 9%, sem apresentar diferenças em relação aos produtos químicos Certeza N e Maxim Advanced, utilizados no manejo fitossanitário da fusariose (Diniz et al., 2025;

Embrapa, 2025a). Além disso, o Eficaz Control representa um avanço em relação ao manejo da resistência de patógenos. O uso combinado de microrganismos com diferentes mecanismos de ação reduz a pressão seletiva sobre *Fusarium*, retardando o surgimento de resistência e garantindo um controle mais eficaz e estável ao longo das safras. A aplicação via tratamento de sementes torna o produto uma solução de fácil implementação na lavoura, com impactos positivos desde as fases iniciais do desenvolvimento da cultura.

## 8. Conclusão

Os bioinsumos são uma ferramenta estratégica para promover a sustentabilidade na agropecuária brasileira. O potencial dessa tecnologia proporciona novas perspectivas para superar desafios constantes na agricultura, como a dependência de uso de produtos sintéticos, como fertilizantes e agrotóxicos, os altos custos de produção, o impacto ambiental da atividade agrícola. Paralelamente, a vantagem no **uso dos bioinsumos está atrelada a valorização da biodiversidade brasileira, recurso ainda pouco explorado**, mas que demonstra vantagens importantes no cenário agrícola e ambiental desenhado nos últimos anos. Isso vem à tona pela busca de cultivos mais sustentáveis e com redução de impactos ambientais e que promova a segurança alimentar.

A formulação de leis apropriadas para toda a cadeia de desenvolvimento, produção, registro e uso de bioinsumos sinalizam a posição brasileira sobre o tema, ao mesmo tempo que o torna referência mundial no setor. A redução de burocracias e a segurança jurídica trazida com a Lei dos Bioinsumos fomenta a pesquisa, o desenvolvimento e a produção desses insumos. Com incentivos as instituições de pesquisa, startups, indústria e comércio, novos produtos tendem a chegar no mercado nos próximos anos, atendendo a demanda do setor por alternativas eficientes e de baixo custo ambiental e econômico.

As perspectivas futuras não estão apenas relacionadas a novos produtos, formulações mais eficientes e na superação dos desafios da agricultura brasileira, mas também em democratizar o uso dos bioinsumos por todo o território nacional e internacional. Bioinsumos brasileiros estão sendo exportados para muitos países, como Paraguai, Estados Unidos, Alemanha. Além disso, investimentos em educação, cursos e métodos de produção segura *on farm* devem ser estimulados e disseminados a toda a cadeia agrícola. Em todos esses cenários, a Embrapa, assim como outras instituições de pesquisa agrícola brasileira, apresenta papel técnico e científico crucial para tornar a agricultura brasileira mais sustentável através do uso de produtos biológicos seguros e eficazes.

## 9. Referências

Associação Nacional Para Difusão De Adubos (ANDA). Relatório sobre o Mercado de Fertilizantes – Janeiro a Dezembro/2024. Comentários Mercado de Fertilizantes, São Paulo, 06 março 2025. Retrieved October 3, 2025, from [www.anda.org.br/wp-content/uploads/2025/03/Comentarios.pdf](http://www.anda.org.br/wp-content/uploads/2025/03/Comentarios.pdf).

Agrolink (2023). Mais de 70% dos fertilizantes são importados no Brasil. [www.agrolink.com.br/noticias/mais-de-70--dos-fertilizantes-sao-importados-no-brasil\\_483200.html](http://www.agrolink.com.br/noticias/mais-de-70--dos-fertilizantes-sao-importados-no-brasil_483200.html)

Andrade, L. A., Santos, C. H. B., Frezarin, E. T., Sales, L. R., & Rigobelo, E. C. (2023). Plant growth-promoting rhizobacteria for sustainable agricultural production. *Microorganisms*, 11(4), 1088. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11041088>

Angelotti, F., Hamada, E., & Bettiol, W. (2024). A comprehensive review of climate change and plant diseases in Brazil. *Plants*, 13(17), 2447. <https://doi.org/10.3390/plants13172447>

Barbosa, J. Z., Hungria, M., Sena, J. V. S., Poggere, G., Reis, A. R., & Corrêa, R. S. (2021). Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*, 163, 103913. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.103913>

Bashan, Y., de-Bashan, L. E., Prabhu, S. R., & Hernandez, J. P. (2014). Advances in plant growth-promoting bacterial inoculant technology: Formulations and practical perspectives (1998–2013). *Plant and Soil*, 378, 1–33. <https://doi.org/10.1007/s11104-013-1956-x>

Bettiol, W., & Medeiros, F. H. V. de. (2023). Como o Brasil se tornou o maior produtor e consumidor de produtos de biocontrole. Embrapa Notícias. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 24, 2025, from [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/79156418/artigo-como-o-brasil-se-tornou-o-maior-produtor-e-consumidor-de-produtos-de-biocontrole)

Bocatti, C. R., Ferreira, E., Ribeiro, R. A., Chueire, L. M. O., Delamuta, J. R. M., Kobayashi, R. K. T., Hungria, M., & Nogueira, M. A. (2022). Microbiological quality analysis of inoculants based on *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense* produced “on farm” reveals high contamination with non-target microorganisms. *Brazilian Journal of Microbiology*, 53, 267–280. <https://doi.org/10.1007/s42770-021-00649-2>

Brasil. (1989). Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, produção, comercialização e utilização de agrotóxicos e afins. *Diário Oficial da União*, Seção 1. Brasília, DF, 12 jul. 1989. Retrieved September 22, 2025, from [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l7802.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7802.htm)

Brasil. (2020). Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e dá outras providências. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF. Retrieved September 14, 2025, from [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/decreto/d10375.htm)

Brasil. (2024). Lei nº 15.070, de 23 de dezembro de 2024. Dispõe sobre a produção, comercialização e uso de bioinsumos para fins agrícolas, pecuários, aquícolas e florestais. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF. Retrieved September 22, 2025, from [www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15070-23-dezembro-2024-796798-publicacaooriginal-173902-pl.html](http://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/2024/lei-15070-23-dezembro-2024-796798-publicacaooriginal-173902-pl.html)

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2010). Instrução Normativa SDA nº 30, de 12 de novembro de 2010: Estabelece os métodos oficiais para análise de inoculantes, sua contagem, identificação e análise de pureza. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 17 Nov 2010. Retrieved September 24, 2025, from [www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-30-2010-dou-17-11-10-metodo-inoculantes.pdf](http://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-30-2010-dou-17-11-10-metodo-inoculantes.pdf)

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (2013). Instrução Normativa nº 53, de 23 de outubro de 2013: Aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos destinados à agricultura. *Diário Oficial da União*, 150(207), 20. Retrieved September 25, 2025, from [www.in.gov.br/materia/-/asset\\_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/31385951/do1-2013-10-24-instrucao-normativa-n-53-de-23-de-outubro-de-2013-31385934](http://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/31385951/do1-2013-10-24-instrucao-normativa-n-53-de-23-de-outubro-de-2013-31385934)

Brasil. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Secretaria de Desenvolvimento Industrial, Inovação, Comércio e Serviços. (2023). Plano nacional de fertilizantes 2050: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil (197 p.). Brasília, DF: SDIC/MGI. ISBN 978-65-981379-4-6. Retrieved September 24, 2025, from [www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/confert/pnf/pnf-v-08-06-12-23.pdf](http://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/confert/pnf/pnf-v-08-06-12-23.pdf)

Caligaris, B. S. A., Vieira Filho, J. E. R., & Paiva, C. A. O. (2025). Bioinsumos e solubilização biológica de fosfato: ganhos de produtividade e redução de custos (Texto para Discussão, n. 3151, 45 p.). Rio de Janeiro: Ipea. <https://dx.doi.org/10.38116/td3151-port>

Carregosa, L., & Barbosa, M. (2022, março 30). Fertilizantes representam até 30% dos custos agrícolas. Poder360. Retrieved September 24, 2025, from [www.poder360.com.br/economia/fertilizantes-representam-ate-30-dos-custos-agricolas/](http://www.poder360.com.br/economia/fertilizantes-representam-ate-30-dos-custos-agricolas/)

Chibeba, A. M., Guimarães, M. F., Brito, O. R., Nogueira, M., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2015). Co-inoculation of soybean with *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* promotes early nodulation. *American Journal of Plant Sciences*, 6, 1641–1649. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.610164>

Companhia Nacional de Abastecimento (Conab). (2025). Acompanhamento da safra brasileira de grãos: safra 2024/25 (v. 12, n. 12, décimo segundo levantamento, setembro 2025). Brasília, DF: Conab.

Croplife Brasil. (2024a). Bioinsumos: soluções sustentáveis para o agronegócio. Retrieved June 28, 2025, from <https://croplifebrasil.org/bioinsumos/>

Croplife Brasil. (2024b). Mercado de bioinsumos cresceu 15% na safra 2023/2024. Retrieved August 21, 2024, from <https://croplifebrasil.org/noticias/mercado-de-bioinsumos-cresceu-15-na-safra-2023-2024/>

Diniz, G. F. D., Cruz-Magalhães, V., de Sousa, S. M., Cota, L. V., de Paula Lana, U. G., Figueiredo, J. E. F., Ferreira, L. V. S., dos Santos, V. L., & Oliveira-Paiva, C. A. (2025). Draft genome of *Paenibacillus ottowii* LIS04 and *Bacillus velezensis* IM14: Dual biocontrol bacterial strains with broad-spectrum antifungal activity. *Microbiology Resource Announcements*, 14(6), e00184-25. <https://doi.org/10.1128/mra.00184-25>



Embrapa. (2020). Pesquisa com bioinsumos mobiliza mais de 600 especialistas da Embrapa. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 25, 2025, from [www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/52713763/pesquisa-com-bioinsumos-mobiliza-mais-de-600-especialistas-da-embrapa](http://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/52713763/pesquisa-com-bioinsumos-mobiliza-mais-de-600-especialistas-da-embrapa)

Embrapa. (2021a). Agrotóxicos no Brasil. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 14, 2025, from [www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil](http://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil)

Embrapa. (2021b). Megatendências da Ciência do Solo 2030. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 24, 2025, from [www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143326/1/Megatendencias-da-Ciencia-do-Solo-2030.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1143326/1/Megatendencias-da-Ciencia-do-Solo-2030.pdf)

Embrapa. (2021c). Novo bioinseticida usa microrganismo com alta eficiência no controle da lagarta-do-cartucho. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 25, 2025, from [www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/65539256/novo-bioinseticida-usa-microrganismo-com-alta-eficiencia-no-controle-da-lagarta-do-cartucho](http://www.embrapa.br/en/busca-de-noticias/-/noticia/65539256/novo-bioinseticida-usa-microrganismo-com-alta-eficiencia-no-controle-da-lagarta-do-cartucho)

Embrapa. (2023a). Bioinsumos: tendência de crescimento no Brasil. Retrieved September 22, 2025, from [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/85620702/bioinsumos-tendencia-de-crescimento-no-brasil)

Embrapa. (2023a). O futuro da agricultura brasileira: 10 visões. Brasília, DF: Embrapa, Superintendência Estratégica. 114 p. Retrieved September 12, 2025, from [www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153216/o-futuro-da-agricultura-brasileira-10-visoes](http://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1153216/o-futuro-da-agricultura-brasileira-10-visoes)

Embrapa. (2024a). Agropensa. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 24, 2025, from [www.embrapa.br/en/agropensa/agro-em-dados/agricultura/graos](http://www.embrapa.br/en/agropensa/agro-em-dados/agricultura/graos)

Embrapa. (2024b). Tecnologia Embrapa para absorção de fósforo rende R\$ 4 bilhões ao Brasil em cinco anos. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 22, 2025, from [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95533715/tecnologia-embrapa-para-absorcao-de-fosforo-rende-r-4-bilhoes-ao-brasil-em-cinco-anos](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/95533715/tecnologia-embrapa-para-absorcao-de-fosforo-rende-r-4-bilhoes-ao-brasil-em-cinco-anos)

Embrapa. (2025b). Novo biofungicida controla fungos de solo com até 80% de eficiência. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 19, 2025,

from [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/102045647/novo-biofungicida-controla-fungos-de-solo-com-ate-80-de-eficiencia](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/102045647/novo-biofungicida-controla-fungos-de-solo-com-ate-80-de-eficiencia)

Embrapa. (2025b). Ciência amplia escopo da fixação biológica de nitrogênio no Brasil. Brasília, DF: Embrapa. Retrieved September 19, 2025, from [www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/98368676/ciencia-amplia-escopo-da-fixacao-biologica-de-nitrogenio-no-brasil](http://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/98368676/ciencia-amplia-escopo-da-fixacao-biologica-de-nitrogenio-no-brasil)

Embrapa. (2025c). Bioinsumos Brasil: aplicativo para consulta de produtos biológicos agrícolas. Retrieved September 22, 2025, from [www.embrapa.br/bioinsumos-aplicativo](http://www.embrapa.br/bioinsumos-aplicativo)

Fontes, E. M. G., & Valadares-Inglis, M. C. (Eds.). (2020). Controle biológico de pragas da agricultura. Brasília, DF: Embrapa. 510 p. ISBN 978-65-86056-01-3

Fukami, J., Nogueira, M. A., Araujo, R. S., & Hungria, M. (2016). Accessing inoculation methods of maize and wheat with *Azospirillum brasilense*. *AMB Express*, 6(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13568-015-0171-y>

Galindo, F. S.,

Pagliari, P. H., da Silva, E. C., Silva, V. M., Fernandes, G. C., Rodrigues, W. L., Céu, E. G. O., de Lima, B. H., Jalal, A., Muraoka, T., Buzetti, S., Lavres, J., & Teixeira Filho, M. C. M. (2022). Co-inoculation with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* sp. enhances nitrogen uptake and yield in field-grown cowpea and did not change N-fertilizer recovery. *Plants (Basel)*, 11(14), 1847. <https://doi.org/10.3390/plants11141847>

Gómez-Godínez, L. J., Martínez-Romero, E., Banuelos, J., & Arteaga-Garibay, R. I. (2021). Tools and challenges to exploit microbial communities in agriculture. *Current Research in Microbial Sciences*, 2, 100062. <https://doi.org/10.1016/j.crmicr.2021.100062>

Hungria, M. (2011). Inoculação com *Azospirillum brasilense*: inovação em rendimento a baixo custo. Londrina, PR: Embrapa Soja. 36 p. Retrieved September 19, 2025, from <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29676/1/Inoculacao-com-azospirillum.pdf>

Hungria, M., & Nogueira, M. A. (2022). Fixação biológica do nitrogênio. In Meyer, M. C., Bueno, A. F., Mazaro, S. M., & Silva, J. C. (Eds.), *Bioinsumos na cultura da soja* (pp. 141–162). Brasília, DF: Embrapa. Retrieved from [www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147044/1/cap-8-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf](http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1147044/1/cap-8-Bioinsumos-na-cultura-da-soja.pdf)

IPCC. Summary for Policymakers. In: IPCC. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Core Writing Team: H. Lee; J. Romero (eds.). Geneva: IPCC, 2023. p. 1–34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.

Lana, U. G. P., et al. (2022). Avaliação da qualidade de inoculantes à base de *Bacillus* para promoção de crescimento de plantas produzidos em sistema on farm. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Lana, U. G. P., et al. (2019). Avaliação da qualidade de biopesticidas à base de *Bacillus thuringiensis* produzidos em sistema “on farm”. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo.

Lee, H. J., & Lee, S. J. (2021). Advances in accurate microbial genome-editing CRISPR technologies. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 31(7), 903–911. <https://doi.org/10.4014/jmb.2106.06056>

MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária. (2020). *Conceitos*. Brasília, DF: MAPA. Retrieved September 22, 2025, from [www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos](http://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/conceitos)

Mitter, E. K., Tosi, M., Obregón, D., Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2021). Rethinking crop nutrition in times of modern microbiology: innovative biofertilizer technologies. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 606815. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.606815>

Oliveira, C. A., Alves, V. M. C., Marriel, I. E., Gomes, E. A., Scotti, M. R., Carneiro, N. P., Guimarães, C. T., Schaffert, R. E., & Sá, N. M. H. (2009). Phosphate solubilizing microorganisms isolated from rhizosphere of maize cultivated in an oxisol of the Brazilian Cerrado Biome. *Soil Biology and Biochemistry*, 41(9), 1782–1787. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.01.012>

Oliveira-Paiva, C. A., Bini, D., de Sousa, S. M., Ribeiro, V. P., dos Santos, F. C., de Paula Lana, U. G., et al. (2024). Inoculation with *Bacillus megaterium* CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. *Frontiers in Microbiology*, 15, 1426166. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>

Parra, J. R. P. (2014). Controle biológico de pragas: histórico, situação atual e perspectivas. *Economic Analysis of Law Review*, 12(3), 557–574.

Pereira, L. A. C., & Cardoso, V. M. (2025). How dependent is Brazilian agriculture on fertilizer imports? *Agro in Data – Insper*. Retrieved September 24, 2025, from <https://agro.insper.edu.br/en/agro-in-data/artigos/qual-e-a-dependencia-do-agro-brasileiro-das-importacoes-de-fertilizantes>

Policarpo, M. A., Silva, A. C. B., Macedo, L. O. B., Gomes, F. M. S., Oliveira, L. G., Pereira, F. S., et al. (2025). Desafios e oportunidades para o avanço da produção de bioinsumos no Brasil (Texto para Discussão, n. 3133). Brasília, DF: Ipea. <https://doi.org/10.38116/td3133-port>

Sambuichi, R. H. R., et al. (2024). Acompanhamento, sistematização e análise dos resultados iniciais de execução do Programa Nacional de Bioinsumos. Brasília, DF: Ipea.

Sharma, N., Mahawar, L., Mishra, A., & Albrechtsen, B. R. (2025). Microbial contributions to plant growth and stress tolerance: mechanisms for sustainable plant production. *Plant Stress*, 17, 100966. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.100966>

Singh, M., Jha, S., Pathak, D., et al. (2025). Advancing biofertilizers: the evolution from single-strain formulations to synthetic microbial communities (SynCom) for sustainable agriculture. *Discovery Plants*, 2, 226. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00318-w>

Sousa, S. M., Oliveira, C. A., Andrade, D. L., Carvalho, C. G., Ribeiro, V. P., Pastina, M. M., et al. (2021). Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, 40, 867–877. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>

United Nations (ONU), Department of Economic and Social Affairs, Population Division. (2019). World Population Prospects 2019: Highlights (ST/ESA/SER.A/423).

Velloso, C. C., Oliveira, C. A., Gomes, E. A., Lana, U. G. P., Carvalho, C. G., Guimarães, L. J. M., et al. (2020). Genome-guided insights of tropical *Bacillus* strains efficient in maize growth promotion. *FEMS Microbiology Ecology*, 96, faa157. <https://doi.org/10.1093/femsec/faa157>

Vermelho, A. B., Macrae, A., Neves, A., Domingos, L., De Souza, J. E., Borsari, A. C. P., De Oliveira, S. S., Von der Weid, I., Veillard, P., & Zilli, J. E. (2025). Microbial bioinputs in Brazilian agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2025.09.013>

Vidal, M. C., Amaral, D. F. S., Nogueira, J. D., Mazzaro, M. A. T., & Lira, V. M. C. (2021). Bioinsumos: a construção de um Programa Nacional pela Sustentabilidade do Agro Brasileiro. *Economic Analysis of Law Review*, 12(3), 557–574.

Zvinavashe, A. T., Mardad, I., Mhada, M., Kouisni, L., & Marelli, B. (2021). Engineering the plant microenvironment to facilitate plant-growth-promoting microbe association. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(45), 13270–13285. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.1c00138>

# Expediente

## **Autores**

Christiane Abreu de Oliveira Paiva,  
Daniel Bini

## **Projeto gráfico**

Contexto Gráfico

## **Capa e paginação**

Kenia de Aguiar Ribeiro  
Scriptorium Design Editorial

## **Foto da capa**

Istockphoto.com

## **Montagem da capa**

Beatriz Fonseca Gomes

## **Tradução**

Thalia Cerqueira

## **Publicação**

Diálogo Agropolítico  
Brasil - Alemanha (APD)

## **Coordenação editorial**

Gleice Mere, Carlos Alberto  
dos Santos, Alexander Borges Rose  
e Ralph Hammer



