

Documentos

Brasília, DF / Outubro, 2024

Inoculantes para nutrição de plantas

Contexto global, nacional
e o panorama na Embrapa



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Superintendência de Estratégia
Ministério da Agricultura e Pecuária**

e-ISSN 2966-1471

Documentos 2

Outubro, 2024

Inoculantes para nutrição de plantas
Contexto global, nacional e o panorama na Embrapa

Silvia Kanadani Campos
José Manuel Cabral de Sousa Dias
Ana Paula Artimonte Vaz
Susana Lena Lins de Góis
Jerri Edson Zilli
Editores técnicos

Embrapa
Brasília, DF
2024

**Embrapa,
Superintendência de Estratégia**
Av. W3 Norte (final)
70770-901 Brasília, DF
www.embrapa.br
www.embrapa.br/fale-conosco/sac/

Comitê de Publicações da Sede

Presidente
Daniel Nascimento Medeiros

Secretária-executiva
Jeane de Oliveira Dantas

Membros
Edemar Joaquim Corazza
Marcela Bravo Esteves
Cristiane Pereira de Assis
Gilmar Paulo Henz
Maria Alice de Medeiros
Silvia Kanadani Campos
Rosaura Gazzola
Jorge Antonio Menna Duarte
Ronessa Bartolomeu de Souza

Edição executiva
Cristiane Pereira de Assis

Revisão de texto
Maria Cristina Ramos Jubé

Normalização bibliográfica
Márcia Maria Pereira de Souza

Projeto gráfico
Leandro Sousa Fazio

Diagramação
Júlio César da Silva Delfino

Foto da capa
Jerri Edson Zilli

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei n° 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa, Superintendência de Serviços Compartilhados

Inoculantes para nutrição de plantas : contexto global, nacional e o panorama na Embrapa / *Silvia Kanadani Campos* ... [et al.], editores técnicos. – Brasília, DF : Embrapa, 2024.

PDF (37 p.) : il. color. – (Documentos / Superintendência de Estratégia, e-ISSN 2966-1471 ; 2)

1. Bioinsumos. 2. Nutrientes – eficiência. 3. Fixação biológica de nitrogênio. 4. Microrganismos – crescimento. I. Dias, José Manuel Cabral de Sousa. II. Vaz, Ana Paula Artimonte. III. Góis, Susana Lena Lins de. IV. Zilli, Jerri Edson. V. Superintendência de Estratégia. VI. Série.

CDD (21. ed.) 631.81

Editores técnicos e autores

Ana Paula Artimonte Vaz

Bióloga, doutora em Ciências, pesquisadora da Embrapa, Gerência-Geral de Estratégias para o Mercado, Brasília, DF

Anderson Ferreira

Biólogo, doutor em genética, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Engenheira-agrônoma, doutora em Interação Planta-Microrganismos, pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG

Fábio Bueno dos Reis Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF

Giani Tavares Santos da Silva

Bacharel em Processamento de Dados, analista da Embrapa, Superintendência de Estratégia, Brasília, DF

Helma Ventura Guedes

Bióloga, doutora em Biotecnologia Vegetal, analista da Embrapa, Gerência-Geral de Gestão de Portfólios e Programas de PD&I, Brasília, DF

Itamar Soares de Melo

Engenheiro-agrônomo, doutor em Genética e Melhoramento de Plantas, pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP

Jerri Edson Zilli

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Engenheiro Químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa, Superintendência de Estratégia, Brasília, DF

Marco Antonio Nogueira

Engenheiro-agrônomo, doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Agrobiologia, Seropédica, RJ

Silvia Kanadani Campos

Médica-veterinária, doutora em Economia Aplicada, pesquisadora da Embrapa, Superintendência de Estratégia, Brasília, DF

Susana Lena Lins de Góis

Engenheira-agrônoma, doutora em Desenvolvimento Sustentável, pesquisadora da Embrapa, Assessoria de Relações Internacionais, Brasília, DF

Vinicius de Melo Benites

Engenheiro-agrônomo, doutor em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Os editores técnicos agradecem aos colegas Bruna Pena Sollero (da Diretoria de Negócios da Embrapa), pelas discussões com a equipe e análise crítica do material produzido; Natália Fernandes (da Confederação da Agricultura e Pecuária), pelos dados fornecidos e discussões acerca da conjuntura do setor de fertilizantes no Brasil e no mundo; Mariane Carvalho Vidal (Embrapa Hortaliças) e Joaquim Dias Nogueira (da Embrapa, em regime de cessão ao Ministério da Agricultura e Pecuária), pelos dados fornecidos com base no Catálogo de Bioinsumos; e Vanessa da Fonseca Pereira (da Supervisão de Inteligência Estratégica), cedida ao Ministério da Agricultura e Pecuária, pelo apoio irrestrito à consolidação deste trabalho.

Apresentação

O presente fascículo da Série Documentos analisa o estágio atual de desenvolvimento dos bioinsumos para nutrição de plantas desenvolvidos pela Embrapa, além das perspectivas e oportunidades para o setor de inoculantes. Esta conjuntura tem sido caracterizada por uma produção de fertilizantes continuamente inferior à demanda nacional, lacuna que se agravou desde o ano 2000 e impõe ao País a necessidade de importar montantes crescentes desses insumos. A pandemia de covid-19 e o conflito Rússia-Ucrânia apenas evidenciaram esta situação, sobretudo em função da pressão sobre os preços e sobre as cadeias de suprimento de insumos agrícolas. Ademais, o mercado consumidor e as relações internacionais multilaterais vêm pressionando a adoção de práticas mais sustentáveis de produção.

Esse cenário abre caminhos e oportunidades para ampliação da geração e uso de inoculantes na nutrição de plantas como alternativa sustentável à correção de deficiências nutricionais de cultivos em solos brasileiros. Para esse estudo, foram considerados os bioinsumos para nutrição vegetal que contêm microrganismos vivos com a finalidade de realizar a fixação biológica do nitrogênio atmosférico ou de melhorar o aproveitamento ou a eficiência de uso de macro e de micronutrientes disponíveis no solo ou a ele adicionados, conforme legislações pertinentes.

Os bioinsumos para nutrição de plantas foram analisados a partir da carteira de projetos e do portfólio de ativos de inovação da Embrapa. Foram identificados 61 projetos e 62 ativos de inovação relacionados a inoculantes, no período de 2018 a 2022, desenvolvidos para grãos, pastagens, cana-de-açúcar e espécies florestais. Em conjunto, essas informações podem apoiar a Embrapa na tomada de decisão, sobretudo no que se refere às estratégias de pesquisa e desenvolvimento e à elaboração do planejamento estratégico institucional, bem como para nortear ações de diferentes atores do agro brasileiro.

Eduardo da Silva Matos

Chefe da Superintendência de Estratégia da Embrapa

Prefácio

As regiões tropicais, de solos ácidos e pouco férteis, requerem correção e reposição constante de nutrientes para a agricultura, o que demanda o uso de fertilizantes. No Brasil, um dos principais produtores e exportadores de alimentos, o consumo de fertilizantes é alto, corresponde ao quarto maior do mundo. Porém, a produção nacional é insuficiente, resultando em um crescente deficit desde 2000, o que leva o País a importar grandes quantidades desses insumos, com um aumento de mais de 400% nas últimas duas décadas. O conflito entre Rússia e Ucrânia deflagrado em 2022 destacou a vulnerabilidade do Brasil em razão de alta dependência de importações, concentrada em poucos países.

Para mitigar essa dependência e promover práticas mais sustentáveis, é essencial diversificar as fontes de importação de fertilizantes e investir em pesquisa para reduzir a dependência externa. A utilização de inoculantes, definidos na legislação brasileira¹ como “produtos que contenham microrganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas”, ganha destaque nesse contexto, com esforços de diversificação em diversos países e grupos econômicos.

A demanda dos consumidores por práticas agrícolas mais sustentáveis também influencia o setor agropecuário, juntamente com a crescente preocupação com a emergência climática, especialmente em regiões tropicais, onde eventos climáticos extremos deverão ser ainda mais frequentes, intensos e com impactos de grande proporção.

Nesse contexto, os inoculantes representam ainda uma oportunidade para reduzir as emissões de gases de efeito estufa na agricultura brasileira, alinhando-se às metas do Acordo de Paris. O Brasil implementou o Programa Nacional de Bioinsumos e o Plano Nacional de Fertilizantes, visando aumentar a capacidade nacional de produção e promover o uso eficiente de bioinsumos.

⁽¹⁾ Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm.

O objetivo deste estudo é apresentar a situação atual e a perspectiva da produção de bioinsumos para nutrição vegetal no Brasil, com foco na atuação da Embrapa neste setor, a partir da análise de seu portfólio de projetos e dos ativos de inovação². Foram considerados bioinsumos para nutrição vegetal os produtos que contêm microrganismos vivos (inoculantes) com finalidade de realizar: a) fixação do nitrogênio atmosférico em simbiose ou associação com raízes das plantas; b) solubilização de fósforo; c) solubilização de potássio; d) aumento da eficiência de uso dos nutrientes; e) tolerância à seca; e f) promoção do crescimento.

O trabalho mostra-se estratégico para o setor e para a Empresa e evidencia oportunidades para atender às demandas do mercado nacional. Destacam-se o uso crescente de inoculantes, as demandas do mercado nacional, a configuração externa envolvendo um dos maiores exportadores de fertilizantes para o Brasil, os efeitos da mudança do clima, além da dinâmica agenda internacional em volta dos fatores ambientais e que se refletem nas políticas públicas nacionais.

Os Editores Técnicos

⁽²⁾ Produtos ou processos para uso direto do setor produtivo. São eles: cultivar; raça ou grupo genético; processo agropecuário; processo industrial; produto/insumo agropecuário ou industrial; máquinas e/ou implementos; e software para clientes externos.

Sumário

1. Oportunidades para o setor de inoculantes no Brasil	13
Introdução	13
Mercado de fertilizantes em números	14
Setor de inoculantes em números	16
Considerações finais	17
Referências	18
2. Regulamentação e conceitos legais relacionados a bioinsumos agrícolas	21
Introdução	21
Legislação brasileira aplicada a bioinsumos	22
Normativas aplicáveis ao desenvolvimento de inoculantes	25
Considerações finais	26
Referências	26
3. Inoculantes e seus efeitos sobre as plantas	31
Introdução	31
Fixação biológica de nitrogênio	33
Promoção da absorção de fósforo	34
Melhoramento de aproveitamento de nutrientes do solo	35
Tolerância a estresses abióticos	37
Considerações finais	37
Referências	38

4. Panorama das ações da Embrapa sobre inoculantes para nutrição de plantas entre 2018 e 2022	43
Introdução	43
Projetos de PD&I	43
Ativos de inovação	45
Considerações finais	54
Referências	56

1. Oportunidades para o setor de inoculantes no Brasil

Silvia Kanadani Campos

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Giani Tavares Santos da Silva

Vinicius de Melo Benites

Jerri Edson Zilli

Introdução

O objetivo deste capítulo é contextualizar o setor de fertilizantes no Brasil e as oportunidades para o setor de inoculantes para nutrição de plantas.

As regiões tropicais, com solos ácidos e de baixa fertilidade, demandam correção e reposição sistemática de nutrientes para a produção agrícola e ganhos de produtividade, tornando necessário o uso de fertilizantes e corretivos agrícolas (Straliotto; Freitas, 2022).

O Brasil, como importante produtor e exportador de alimentos, é o quarto maior consumidor de fertilizantes no mundo, atrás apenas da China, Índia e dos Estados Unidos (Brasil, 2021). No Brasil, a produção de fertilizantes é muito inferior à demanda nacional, o que caracteriza um déficit que vem se agravando desde o início de 2000 e impõe ao País a necessidade de importar montantes crescentes desses insumos.

A opinião dos consumidores, que vêm exigindo processos e produtos mais sustentáveis, com menores níveis de resíduos químicos e opções de oferta de produtos orgânicos, passa também a ser fator decisivo para o direcionamento do setor agropecuário atual e futuro (Embrapa, 2022). A emergência climática é outro aspecto importante a ser considerado na atual conjuntura, particularmente mais relevante nas regiões tropicais do planeta, onde ondas de calor e escassez de chuvas têm ocorrido com maior frequência, intensidade, e impactando,

em maior grau, populações mais vulneráveis (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023). O uso de bioinsumos também representa uma oportunidade importante para os avanços na redução da emissão de gases de efeito estufa na agropecuária brasileira e auxilia o atendimento das metas da Contribuição Nacionalmente Determinada do Acordo de Paris (NDC) (Zilli et al., 2020; Tiedji et al., 2022).

Mercado de fertilizantes em números

Em 2021, a importação de fertilizantes totalizou aproximadamente 42 milhões de toneladas, com um aumento de mais de 400% em duas décadas (Conab, 2022). A produção nacional, em contrapartida, teve queda de 13,5% entre 2018 e 2021, passando de 7,4 milhões de toneladas para 6,3 milhões (Confederação da Agricultura e Pecuária, 2022a). A situação mais crítica no Brasil reside na dependência de importação e na baixa produção nacional de fertilizantes potássicos (Figura 1.1) (Confederação da Agricultura e Pecuária, 2022b).

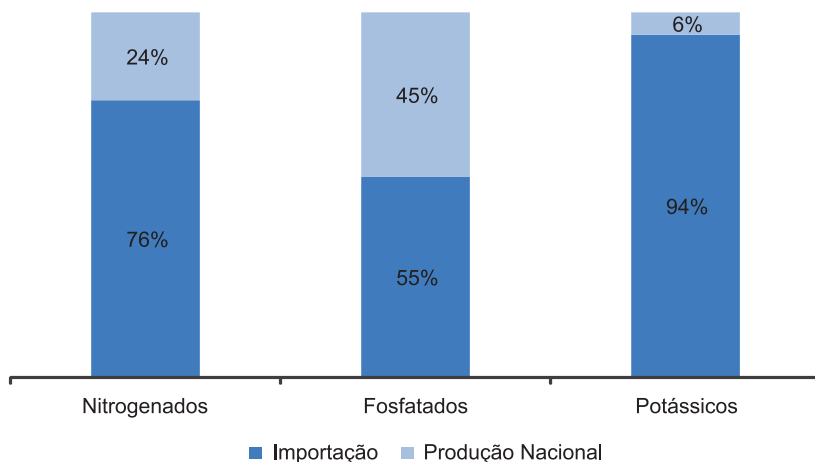


Figura 1.1. Proporção do abastecimento interno de fertilizantes, por tipo de nutriente e origem.

Fonte: Confederação da Agricultura e Pecuária (2022b).

A Rússia forneceu mais de 20% dos fertilizantes importados pelo Brasil em 2022, seguida pela China (16%) e pelo Canadá (12%) (Figura 1.2) (Brasil, 2023a). O conflito Rússia-Ucrânia, deflagrado em 2022, evidenciou uma situação que já era crítica: a alta dependência da importação de fertilizantes pelo Brasil e sua concentração em poucos países. Torna-se crucial, portanto, a busca pela diversificação das importações dos fertilizantes em países como Canadá, China, Marrocos, Estados Unidos e Arábia Saudita (Confederação da Agricultura e Pecuária, 2022b). São necessárias também pesquisas que possam atenuar a dependência externa e intensificar as ações previstas nas políticas públicas visando ao uso racional de fertilizantes.

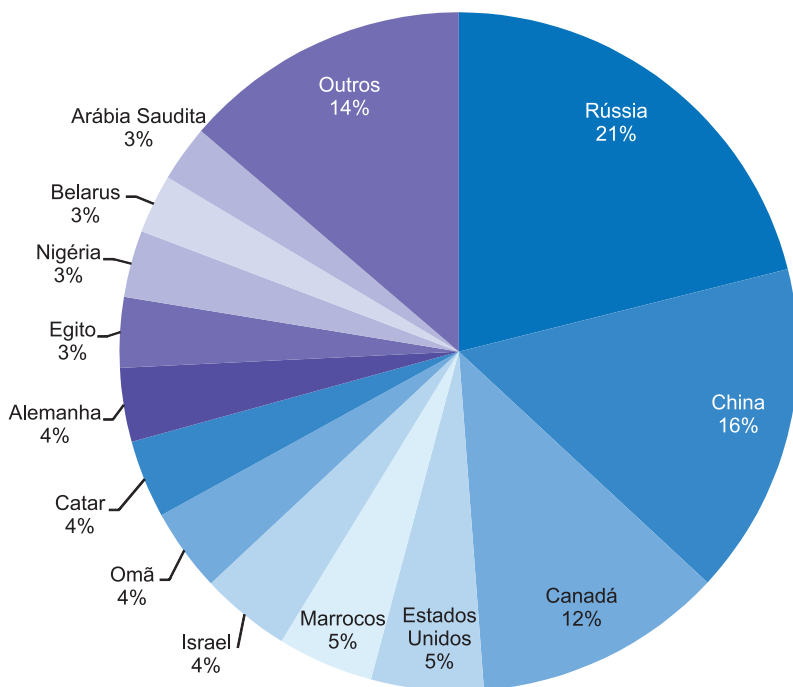


Figura 1.2. Proporção das importações brasileiras de fertilizantes sintéticos, por países de origem, em 2022.

Fonte: Brasil (2023a).

Setor de inoculantes em números

As projeções indicam um crescimento do mercado mundial de inoculantes de 10 a 12% ao ano, nos próximos anos, e, em termos de valor, um mercado mundial de US\$ 6,7 bilhões em 2029 (US\$ 3,14 bilhões em 2022) (Fortune Business Insights, 2022), com diversificação na oferta de produtos biológicos. De fato, tem havido adoção crescente dos inoculantes pelos produtores rurais em todo o mundo, e, no Brasil, aumentou em quase 400% entre 2009 e 2019. O número de doses comercializadas ultrapassou os 90 milhões (Figura 1.3) (Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes, 2022).

Outro importante indicador da expansão do mercado de inoculantes no Brasil é o aumento no registro de produtos no Catálogo Nacional de Bioinsumos do Ministério da Agricultura e Pecuária (Mapa). Em 2021, havia 436 inoculantes registrados e, em janeiro de 2023, 524 produtos registrados (Brasil, 2023b).



Figura 1.3. Quantidade de venda de inoculantes, no Brasil, entre 2009 e 2019. Fonte: Associação Nacional de Produtores e Importadores de Inoculantes (2022).

A Figura 1.4 representa a venda de inoculantes agrícolas nos diversos continentes ao redor do mundo. O consumo desse tipo de produto é maior na América do Norte e Europa. As demais regiões, América do Sul, Ásia e Oceania, têm posição intermediária; e, na África, ainda é muito baixo o consumo de inoculantes (Mordor Intelligence, 2022).

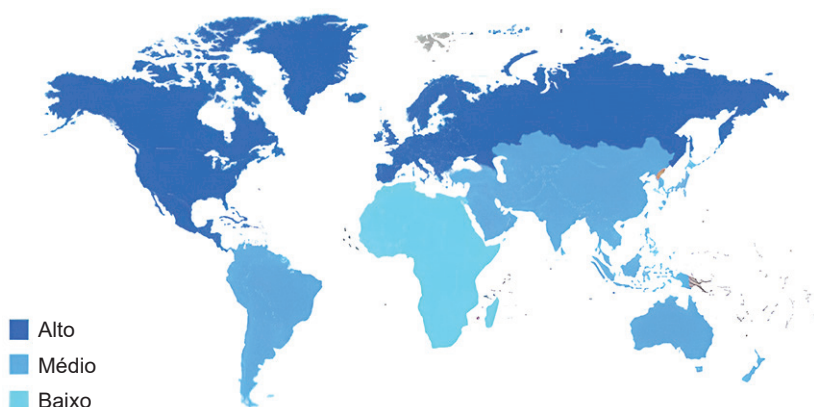


Figura 1.4. Participação global no mercado de inoculantes em 2021.

Fonte: Mordor Intelligence (2022).

Pode-se antever, entretanto, que o crescimento da produção de soja no Brasil e o desenvolvimento de inoculantes para milho, cana-de-açúcar e pastagens (ver Capítulo 4) poderão alterar esse quadro em futuro próximo.

Considerações finais

O contexto apresentado neste capítulo abre caminhos para a ampliação do uso de inoculantes. Esforços de diversificação do fornecimento de nutrientes para as plantas vêm sendo implementados em

diversos grupos econômicos e países, evidenciando a relevância dos bioinsumos.

Especificamente no Brasil, estão em vigor, dentre outros, o Programa Nacional de Bioinsumos (Brasil, 2020, 2022) e o Plano Nacional de Fertilizantes (Brasil, 2021), que visam, entre outras medidas, ao aumento da capacidade nacional na produção de fertilizantes e à otimização no uso de bioinsumos.

Apesar das perspectivas positivas para o setor, são inúmeros os desafios a serem enfrentados. Os fertilizantes minerais são ampla e tradicionalmente adotados pelos agricultores que, com frequência, evitam alterar seus modos de produção. Uma vez que os microrganismos não são patenteáveis no Brasil e os produtos são de fácil imitação quando seu processo e sua formulação são conhecidos, a competição no mercado se destaca, aumentando a relevância do atributo preço, assim como de ações direcionadas aos clientes.

Referências

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PRODUTORES E IMPORTADORES DE INOCULANTES. **O crescimento da venda de inoculantes na última década**. Disponível em: <https://www.anpii.org.br/estatisticas/>. Acesso em: 3 nov. 2022.

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, p. 105, 27 maio 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Catálogo Nacional de Bioinsumos**. 2023b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos/o-programa/catalogo-nacional-de-bioinsumos>. Acesso em: 6 fev. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Programa Nacional de Bioinsumos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inovacao/bioinsumos>. Acesso em: 7 nov. 2022.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. **Comex Stat**. 2023a. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 10 maio 2023.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília, DF: SAE, 2021. 195 p. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2022.

CONAB. **Importação de fertilizantes é recorde e chega a 41,6 milhões de toneladas**. Brasília, DF, 28 jan. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4486-importacao-de-fertilizantes-e-recorde-e-chega-a-41-6-milhoes-de-toneladas>. Acesso em: 7 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Jazidas e bioinsumos minimizam falta de fertilizante estrangeiro**. 2022a. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/noticias/jazidas-e-bioinsumos-minimizam-falta-de-fertilizante-estrangeiro>. Acesso em: 7 nov. 2022.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA. **Mercado em foco**: impactos do conflito entre Rússia e Ucrânia no mercado agropecuário, em especial de fertilizantes. 2022b. Disponível em: <https://cnabrasil.org.br/assets/arquivos/dtec.mercado-em-foco6.Russia-Ucrani-RT.17mar2022.vf.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2022.

EMBRAPA. **Visão de futuro do agro brasileiro**: sumário executivo. Brasília, DF, 2022. 8 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao-de-futuro>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS. Biostimulants market. **Market Research Report**. 2022. Disponível em: <https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/biostimulants-market-100414>. Acesso em: 4 maio 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **The IPCC finalized the Synthesis Report for the Sixth Assessment Report**. 2023. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>. Acesso em: 13 mar. 2024.

MORDOR INTELLIGENCE. Global Agricultural Inoculants Market (2021-2026). **Industry Reports**, 2022. Disponível em: <https://www.databridgemarketresearch.com/reports/global-agricultural-inoculants-market/companies>. Acesso em: 21 nov. 2022.

STRALIOTTO, R.; FREITAS, P. L. A ciência do solo no Brasil: linha do tempo. In: TORRES, L. A.; CAMPOS, S. K. **Megatendências da Ciência do Solo 2030**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1142227/megatendencias-da-ciencia-do-solo-2030>. Acesso em: 21 nov. 2022.

TIEDJI, J. M.; BRUNS, M. A.; CASADEVALL, A.; CRIDDLE, C. S.; ELOE-FADROSH, E.; KARL, D. M.; NGUYEN, N. K.; JIZHONG, Z. Microbes and climate change: a research prospectus for the future. **Environmental Microbiology**, v. 13, n. 3, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1128/mbio.00800-22>.

ZILLI, J. E.; ALVES, B. J. R.; ROUWS, L. F. M.; SIMÕES-ARAUJO, J. L.; SOARES, L. H. B.; CASSÁN, F.; CASTELLANOS, M. O.; O'HARA, G. The importance of denitrification performed by nitrogen-fixing bacteria used as inoculants in South America. **Plant Soil**, v. 451, p. 5-24 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-019-04187-7>.

2. Regulamentação e conceitos legais relacionados a bioinsumos agrícolas

Helma Ventura Guedes

Susana Lena Lins de Góis

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Introdução

A regulamentação dos produtos biológicos objetiva incentivar a produção, a comercialização e o uso dos bioinsumos na agropecuária brasileira, impulsionando a utilização de recursos biológicos e aproveitando a biodiversidade do País. Busca, ainda, reduzir a dependência de insumos importados, assim como ampliar a oferta, o acesso e o incentivo à adoção e o uso adequado desses produtos.

O desenvolvimento de bioinsumos agrícolas envolve desde a coleta do material biológico até o registro comercial do produto, e esses processos requerem a aplicação de procedimentos segundo o disposto na legislação vigente.

Apresenta-se, a seguir, uma breve discussão sobre como a legislação brasileira estrutura e disciplina o desenvolvimento, registro e uso de insumos biológicos com foco em inoculantes para nutrição de plantas.

Em 2020, com o objetivo de estruturar o desenvolvimento e a regularização de produtos de origem biológica, impulsionar a utilização sustentável dos recursos biológicos na agropecuária brasileira, aproveitar a biodiversidade do País e reduzir a dependência de insumos importados, assim como ampliar a oferta, o acesso e incentivar a adoção e uso correto desses produtos foi lançado, por meio do Decreto nº 10.375, de 26 de maio de 2020 (Brasil, 2020a), o Programa Nacional

de Bioinsumos (PNB) e o Conselho Estratégico do PNB. No art. 2º do citado decreto, bioinsumo foi definido como:

[...] **produto**, processo ou tecnologia de origem vegetal, animal ou microbiana, destinado ao **uso na produção**, no armazenamento e no beneficiamento de produtos agropecuários, nos sistemas de produção aquáticos ou de florestas plantadas, que **interfiram positivamente no crescimento**, no desenvolvimento e no mecanismo de resposta de animais, **de plantas**, de microrganismos e de substâncias derivadas e que interajam com os produtos e os processos físico-químicos e biológicos (grifo nosso).

Legislação brasileira aplicada a bioinsumos

O conceito de bioinsumo é amplo e abarca uma grande quantidade de produtos, processos ou tecnologias de origem vegetal, animal ou microbiana, tais como biofertilizantes, promotores de crescimento de plantas, produtos de controle biológico e nutrição vegetal, entre outros.

Dentre os vários bioinsumos existentes, destacamos os biofertilizantes, que são considerados pela Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (Brasil, 1980, art. 3), como: [...] produto que contenha princípio ativo apto a melhorar, direta ou indiretamente, o desenvolvimento das plantas.

O conceito de biofertilizante foi detalhado pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004, art. 2), como:

[...] produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar, direta ou indiretamente, sobre o todo ou parte das plantas cultivadas, elevando a sua produtividade, sem ter em conta o seu valor hormonal ou estimulante.

Em alguns países, o grupo de produtos caracterizados como biofertilizantes equivale aos chamados bioestimulantes (*biostimulants*), mas, no Brasil, os “bioestimulantes” são considerados pela legislação de defensivos ou agrotóxicos e afins (Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989) (Brasil, 1989).

Recentemente, os bioestimulantes foram definidos pela Portaria Conjunta SDA/Mapa/Ibama/ Anvisa nº 1, de 10 de abril de 2023 (Brasil, 2023, art. 2), como:

[...] microrganismos e/ou metabólitos aplicados com a função de estimular processos fisiológicos da planta que resultem na prevenção ou resposta ao estresse vegetal, podendo favorecer o controle de uma população ou da ação de outro organismo vivo considerado nocivo, ou ainda, podendo atuar como desfolhante ou dessecante de plantas, estimuladores e inibidores de crescimento.

Dessa forma, considerando os aspectos da legislação brasileira, alguns bioinsumos como, por exemplo, os bioestimulantes e os produtos para controle biológico, estão enquadrados na legislação de agrotóxicos e afins, portanto, sua utilização e comercialização seguem arcabouço normativo específico.

Entre os bioinsumos utilizados como promotores de crescimento vegetal nos sistemas de produção agrícola, temos os inoculantes. A Figura 2.1 apresenta uma linha do tempo com a disposição dos normativos específicos e transversais aplicáveis a esses produtos, destacando os principais: Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980 (Brasil, 1980), e Decreto regulamentador nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004 (Brasil, 2004), bem como instruções normativas do Mapa¹.

O Decreto nº 4.954, de 2004, define inoculante como produto que contém microrganismos com atuação favorável ao crescimento de plantas, entendendo-se como:

⁽¹⁾ Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacoes>.

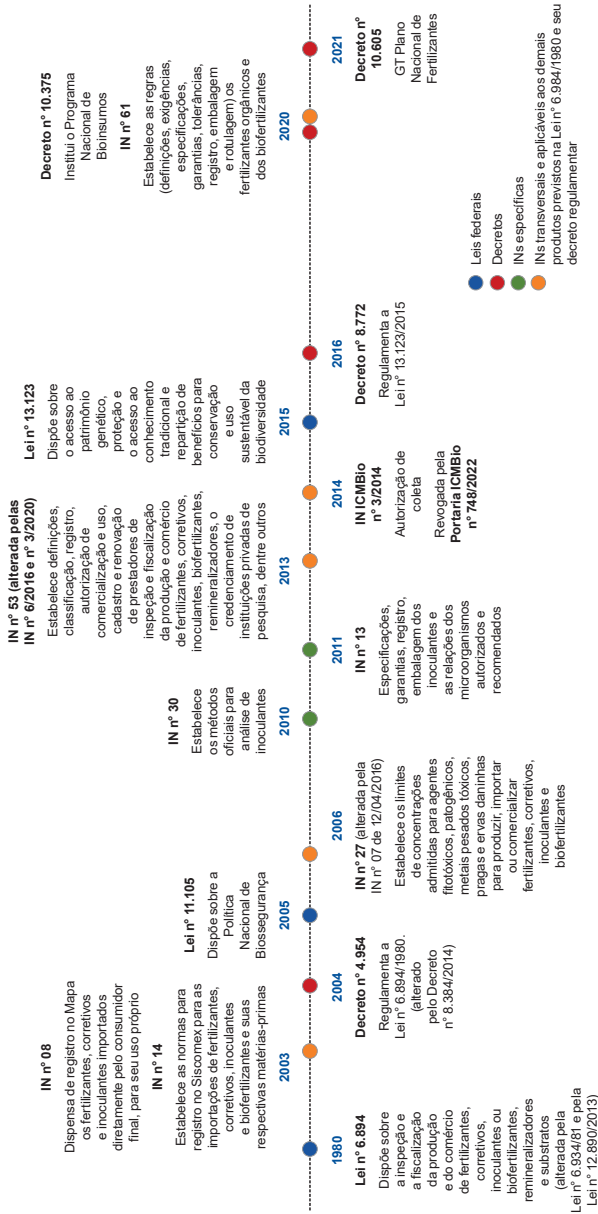


Figura 2.1. Linha do tempo dos instrumentos jurídicos brasileiros que regulamentam bioinsumos, com foco em inoculantes.

Fonte: Adaptado de Brasil (1980, 2003a, 2003b, 2004, 2005, 2006, 2010, 2011, 2013, 2014, 2015, 2016, 2020a, 2020b, 2021a).

- a) Suporte: material excipiente e esterilizado, livre de contaminantes segundo os limites estabelecidos, que acompanha os microrganismos e tem a função de suportar ou nutrir, ou ambas as funções, o crescimento e a sobrevivência destes microrganismos, facilitando a sua aplicação; e
- b) Pureza do inoculante: ausência de qualquer tipo de microrganismos que não sejam os especificados.

Normativas aplicáveis ao desenvolvimento de inoculantes

As atividades de pesquisa, desenvolvimento e produção de inoculantes devem ser realizadas em observância às exigências técnicas, aos procedimentos, protocolos oficiais e às comprovações científicas requeridas para atestar a viabilidade e eficiência de seu uso agrícola. Nesse sentido, em relação às instruções normativas, destacam-se a Instrução Normativa Mapa/SDA nº 13/2011 e a Instrução Normativa Mapa/SDA nº 53/2013.

A Instrução Normativa Mapa/SDA nº 13/2011 apresenta normas para a produção dos inoculantes, garantia de qualidade e lista de cepas autorizadas e recomendadas para sua formulação. A Instrução Normativa Mapa/SDA nº 53/2013 dispõe sobre os requisitos mínimos para avaliação de viabilidade e eficiência agrônômica, sobre a elaboração do relatório técnico-científico conclusivo, necessários para fins de registro do produto, bem como sobre os critérios para registro do estabelecimento e credenciamento de instituição privada de pesquisa.

Ademais, no âmbito dos projetos de pesquisa desenvolvidos pela Embrapa, destaca-se a observância do atendimento a outras legislações aplicáveis. Conforme o caso, é necessário atentar, por exemplo, para a necessidade de obtenção de autorização de coleta de material biológico pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), de acordo com a Portaria nº 748, de 2022 (Brasil, 2022). Além disso, as atividades de pesquisa e desenvolvimento devem estar em conformidade com a Lei nº 13.123, de 20 de maio

de 2015 (Brasil, 2015), e seu respectivo Decreto nº 8.772, de 11 de maio de 2016 (Brasil, 2016), que promoveu a criação do Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGen) ligado ao Ministério do Meio Ambiente (MMA), o qual gerencia o Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen).

Devem ser observadas, ainda, as questões relativas à biossegurança regulamentadas na Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005 (Brasil, 2005), para os projetos de pesquisa que envolvem organismos geneticamente modificados (OGMs) ou que envolvem microrganismos com classificação específica de risco biológico, de acordo com grau de risco e nível de biossegurança exigidos pela Portaria nº 3.398, de 7 de dezembro de 2021 (Brasil, 2021b).

Por fim, destaca-se que, para a conclusão do processo de desenvolvimento de inoculante com a obtenção de registro de produto junto aos órgãos reguladores e inserção no mercado, todas as etapas devem ser realizadas de acordo com as exigências técnicas e legais vigentes - ver Documento Orientador (Embrapa, 2023).

Considerações finais

As iniciativas ligadas à criação e implementação de normativas no setor visam fortalecer a competitividade da produção nacional sustentável e garantir a segurança agrônômica, biológica, a proteção da saúde humana e do meio ambiente. O processo de desenvolvimento dos produtos realizado de acordo com as normativas estabelecidas garante a eficiência e qualidade dos produtos gerados.

Referências

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, p. 105, 27 maio 2020a.

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, p. 2, 15 jan. 2004.

BRASIL. Decreto nº 8.772, de 11 de maio de 2016. Regulamenta a Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015, que dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 15 maio 2016.

BRASIL. Lei nº 11.105, de 24 de março de 2005. Regulamenta os incisos II, IV e V do § 1º do art. 225 da Constituição Federal, estabelece normas de segurança e mecanismos de fiscalização de atividades que envolvam organismos geneticamente modificados – OGM e seus derivados, cria o Conselho Nacional de Biossegurança – CNBS, reestrutura a Comissão Técnica Nacional de Biossegurança – CTNBio, dispõe sobre a Política Nacional de Biossegurança – PNB; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 28 mar. 2005.

BRASIL. Lei nº 13.123, de 20 de maio de 2015. Regulamenta o inciso II do § 1º e o § 4º do art. 225 da Constituição Federal, o Artigo 1, a alínea j do Artigo 8, a alínea c do Artigo 10, o Artigo 15 e os §§ 3º e 4º do Artigo 16 da Convenção sobre Diversidade Biológica, promulgada pelo Decreto nº 2.519, de 16 de março de 1998; dispõe sobre o acesso ao patrimônio genético, sobre a proteção e o acesso ao conhecimento tradicional associado e sobre a repartição de benefícios para conservação e uso sustentável da biodiversidade; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 1, 21 maio 2015.

BRASIL. Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 25289, 17 dez. 1980.

BRASIL. Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989. Dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, a comercialização, a propaganda comercial, a utilização, a importação, a exportação, o destino final dos resíduos e embalagens, o registro, a classificação, o controle, a inspeção e a fiscalização de agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. (Revogada pela Lei nº 14.785, de 27 dezembro de 2023). **Diário Oficial da União**: seção 1, p. 11459, 12 jul. 1989.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instrução normativa nº 30 de 17 de novembro de 2010. Estabelece os métodos oficiais para análise de inoculantes. **Diário Oficial da União**: seção 1, nº 219, 17 nov. 2010. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-30-2010-dou-17-11-10-metodo-inoculantes.pdf/view>. Acesso em: 11 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instrução Normativa nº 13, de 24 de março de 2011. Aprova as normas sobre especificações, garantias, registro, embalagem e rotulagem dos inoculantes destinados à agricultura, bem como as relações dos micro-organismos autorizados e recomendados para produção de inoculantes no Brasil. **Diário Oficial da União**: seção 1, nº 58, 24 mar. 2011.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução normativa no 53 de 23 outubro de 2013**. Estabelece definições, classificação, registro; autorização de comercialização e uso; cadastro e renovação de prestadores de serviços; procedimentos de inspeção e fiscalização da produção e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, biofertilizantes, remineralizadores, o credenciamento de instituições privadas de pesquisa e os requisitos mínimos para avaliação da viabilidade e eficiência agrônômica e elaboração do relatório técnico-científico para fins de registro de fertilizante, corretivo, biofertilizante, remineralizador e substrato para plantas na condição de produto novo. Alterada pela IN MAPA nº 3 de 15 de janeiro de 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-53-2013-com-as-alteracoes-da-in-3-de-15-01-2020.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Instrução Normativa n° 61 de 8 julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 134, p. 5, 15 jul. 2020b. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-61-de-8-de-julho-de-2020-266802148>. Acesso em: 7 nov. 2022.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução normativa SDA n° 27 de 5 de junho de 2006**. Estabelece os limites de concentrações admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para produzir, importar ou comercializar fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes. Alterada pela IN SDA n° 7, de 12/04/2016. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Instrução normativa n° 3 de 1 de setembro de 2014**. Fixa normas para a utilização do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - SISBio, na forma das diretrizes e condições previstas nesta Instrução Normativa, e regulamenta a disponibilização, o acesso e o uso de dados e informações recebidos pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade por meio do SISBio. (Processo n° 02070.001067/2013-96). Disponível em: https://ava.icmbio.gov.br/pluginfile.php/108/mod_data/content/3225/INSTRU%C3%87%C3%83O%20NORMATIVA%20N%C2%BA%2003%2C%20DE%201%C2%B0%20DE%20SETEMBRO%20DE%202014..pdf . Acesso em: 15 dez. 2023.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Portaria IMCBio n° 784, de 19 de setembro de 2022. Normatiza o uso e a gestão do Sistema de Autorização e Informação em Biodiversidade - Sisbio, na forma das diretrizes e condições previstas nesta Portaria. **Diário Oficial da União**: seção 1, n. 181, p. 86, 22 set. 2022. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/2022/P_icmbio_748_2022_normatiza_sisbio.pdf. Acesso em: 15 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 3.398, de 7 de dezembro de 2021. Aprova a Classificação de Risco dos Agentes Biológicos e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, 29 dez. 2021b.

BRASIL. Portaria Conjunta SDA/Mapa - Ibama - Anvisa nº 1, de 10 de abril de 2023. Estabelece procedimentos a serem adotados para o registro de produtos microbiológicos empregados no controle de pragas ou como desfolhantes, dessecantes, estimuladores, inibidores de crescimento, além de revogar os atos normativos vigentes. **Diário Oficial da União**: seção 1, 10 abr. 2023.

BRASIL. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa SARC nº 8, de 2 de julho de 2003. Dispensa de registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA os fertilizantes, corretivos e inoculantes importados diretamente pelo consumidor final, para seu uso próprio. **Diário Oficial da União**: seção 1, 4 jul. 2003a.

BRASIL. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Instrução normativa SARC nº 14, de 16 de outubro de 2003. Dispõe sobre a aplicação das normas para registro no SISCOMEX em relação às importações de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, e suas respectivas matérias-primas. **Diário Oficial da União**: seção 1, 17 out. 2003b.

BRASIL. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos. **Plano Nacional de Fertilizantes 2050**: uma estratégia para os fertilizantes no Brasil. Brasília, DF: SAE, 2021a. 195 p. Disponível em: <https://static.poder360.com.br/2022/03/plano-nacional-de-fertilizantes-brasil-2050.pdf>. Acesso em: 7 nov. 2022.

EMBRAPA. Diretoria de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. **Exigências legais e técnicas aplicáveis ao desenvolvimento de inoculantes**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: <https://www.embrapa.br/group/intranet/pesquisa-e-desenvolvimento/assuntos-regulatorios>. Acesso em: 1 dez. 2023.

3. Inoculantes e seus efeitos sobre as plantas

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Jerri Edson Zilli

Fábio Bueno dos Reis Junior

Itamar Soares de Melo

Marco Antonio Nogueira

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Anderson Ferreira

Vinicius de Melo Benites

José Manuel Cabral de Sousa Dias

Introdução

As principais tecnologias pesquisadas nos projetos da Embrapa que visam estimular a nutrição vegetal e utilizam microrganismos vivos concentram-se em seis efeitos principais:

- a) fixação do nitrogênio atmosférico em simbiose ou associação com raízes das plantas;
- b) solubilização de fósforo;
- c) solubilização de potássio;
- d) aumento da eficiência de uso dos nutrientes;
- e) tolerância à seca; e
- f) promoção do crescimento.

Para fins de PD&I, há diversas espécies de bactérias e de fungos, que compõem os inoculantes, que poderiam ser estudadas para desenvolvimento de produtos para aplicação na nutrição vegetal. Na Tabela 3.1, estão reunidos alguns exemplos de gêneros microbianos que têm diversos efeitos na promoção de crescimento de cereais, leguminosas, frutíferas, hortaliças, ornamentais e florestais, entre outras espécies de importância econômica.

Tabela 3.1. Exemplos de gêneros microbianos fixadores de nitrogênio, solubilizadores de fósforo e potássio, micorrízicos arbusculares ou promotores de crescimento.

Efeito na planta	Exemplo
Fixação de nitrogênio	<p>Bactérias simbióticas (nodulantes): <i>Bradyrhizobium</i>, <i>Rhizobium</i> e <i>Paraburkholderia</i>. Bactérias de vida livre: <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Gluconacetobacter</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Nitrospirillum</i>, <i>Paenibacillus</i> e <i>Paraburkholderia</i>. Incluem as cianobactérias (ou algas verde-azuladas): <i>Anabaena</i>, <i>Nostoc</i>. Actinobactérias: <i>Frankia</i>, <i>Streptomyces</i>.</p>
Solubilização de fósforo	<p>Bactérias: <i>Acinetobacter</i>, <i>Alcaligenes</i>, <i>Arthrobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Clostridium</i>, <i>Enterobacter</i>, <i>Erwinia</i>, <i>Exiguobacterium</i>, <i>Natrinema</i>, <i>Pseudomonas</i>, <i>Rhizobium</i>, <i>Serratia</i>. Fungos: <i>Acremonium</i>, <i>Aspergillus</i>, <i>Hymenella</i>, <i>Neosartorya</i>, <i>Penicillium</i>.</p>
Solubilização de potássio	<p>Bactérias: <i>Acidithiobacillus</i>, <i>Aminobacter</i>, <i>Arthrobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Cladosporium</i>, <i>Enterobacter</i>, <i>Paenibacillus</i>, <i>Sphingomonas</i>. Fungos: <i>Aspergillus</i>, <i>Cladosporium</i>, <i>Penicillium</i>.</p>
Melhoramento do aproveitamento dos nutrientes do solo	<p>Bactérias: <i>Azoarcus</i>, <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Beijerinckia</i>, <i>Clostridium</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Klebsiella</i>, <i>Nitrospirillum</i>, <i>Paenibacillus</i>, <i>Paraburkholderia</i>, <i>Pseudomonas</i>. Fungos micorrízicos arbusculares (FMA): <i>Acaulospora</i>, <i>Gigaspora</i>, <i>Glomus</i>, <i>Rhizoglosum</i>, <i>Sclerocystis</i>, <i>Scutellospora</i>, <i>Septoglosum</i>.</p>
Tolerância à seca e promoção de crescimento	<p>Bactérias: <i>Azospirillum</i>, <i>Azotobacter</i>, <i>Bacillus</i>, <i>Burkholderia</i>, <i>Gluconacetobacter</i>, <i>Herbaspirillum</i>, <i>Pseudomonas</i>.</p>

Nota: foram apresentados exemplos de gêneros microbianos, sem esgotar a variedade de fungos e bactérias existentes.

Fixação biológica de nitrogênio

A fixação biológica de nitrogênio (FBN) ocorre com base na interação entre bactérias diazotróficas e plantas. Na simbiose com leguminosas, os rizóbios formam estruturas radiculares – os nódulos –, nos quais ocorre a FBN. O Brasil é um caso de sucesso na exploração da FBN na cultura da soja. Em janeiro de 2023, havia 282 produtos registrados no Mapa (o que representava 54% do total de inoculantes registrados naquela época), utilizados em mais de 85% da área cultivada com essa cultura no País.

Entre as leguminosas produtoras de grãos, a soja é a de maior importância econômica e a que recebe maior contribuição da FBN. Para produção de uma tonelada de grãos de soja, com 6,5% de nitrogênio (N), são necessários, pelo menos, 80 kg de N (Sousa; Fernandes, 2023). Considerando a produtividade média de 3.527 kg/ha (Conab, 2022), seriam necessários cerca de 282 kg de N por hectare. Resultados experimentais indicam que a FBN contribui com cerca de 85% do N total acumulado, somado ao N existente no solo, que é absorvido pela planta. Consequentemente, a FBN contribuiu com 240 kg de N por hectare. Estima-se que a tecnologia foi adotada em cerca de 41 milhões de hectares na safra de 2021/2022, o que leva a um cálculo de fixação de nitrogênio de cerca de 10 milhões de toneladas naquela safra (Sousa; Fernandes, 2023).

Para outras leguminosas, como o feijão comum, feijão-caupi, grão-de-bico, lentilha e amendoim, também existem inoculantes no mercado, mas o uso desses produtos é reduzido, quando comparado ao da soja.

No caso de gramíneas, diferentemente dos rizóbios, as bactérias fixadoras de nitrogênio são de vida livre (associativas ou endofíticas) e não formam estruturas especializadas nas plantas (ver Tabela 3.1). Nesses casos, a FBN promove a disponibilização de menor quantidade de nitrogênio, quando comparada à promovida pelos simbioses, mas ainda assim consegue suprir parte da demanda de nitrogênio das gramíneas. Dentre as bactérias associadas às gramíneas para fixação biológica do nitrogênio, destaca-se o gênero *Azospirillum*, com

capacidade de promover aumentos de 5 a 30% na produtividade de importantes culturas (Okon; Labandera-Gonzales, 1994).

Além da FBN, esses inoculantes podem apresentar ainda mecanismos de promoção de crescimento das plantas por meio da produção de moléculas que mimetizam hormônios vegetais e sideróforos, da solubilização de fosfatos, do controle de pragas e doenças, dentre outros recursos funcionais. Um dos mecanismos mais estudado é a capacidade de produção de reguladores de crescimento, tais como auxinas, giberelinas e citocininas (Bashan; Holguin, 1997), que podem estimular o aumento na densidade de pelos radiculares, na taxa de aparecimento de raízes secundárias e na superfície radicular, resultando em melhoria da absorção de água e nutrientes (Cassán et al., 2020).

A tecnologia de inoculação com *Azospirillum* foi lançada em 2016 (Hungria et al., 2016), e foi expandida em 2021 para aplicação foliar em pastagens de braquiárias.

A curto e médio prazos, verifica-se tendência de intensificação do uso de rizóbios nas lavouras, sobretudo com o desenvolvimento de produtos que agreguem outros microrganismos com funções específicas, como é o caso do *Azospirillum* (coinoculação). Também há a expectativa de ampliação do uso de inoculantes em pastagens onde leguminosas podem ser utilizadas em consórcio com gramíneas, visando à melhoria na qualidade e à maior longevidade das forrageiras.

Promoção da absorção de fósforo

Outro nutriente mineral indispensável para o crescimento e a produção vegetais é o fósforo (P) que interfere nos processos de fotossíntese, respiração, armazenamento e transferência de energia e precisa ser suplementado na maioria dos solos agrícolas (Miranda, 2023). Contudo, a fixação de P no solo pela adsorção com os íons de ferro, alumínio e cálcio reduz a eficiência dos fertilizantes fosfatados solúveis. De acordo com Pavinato et al. (2020) citado por Miranda

(2023), mais de 70% do P incorporado ao solo permanece em formas não disponíveis para as plantas, resultado similar àquele encontrado por Whitters et al. (2018).

Visando aumentar a disponibilidade de P para as culturas do milho e da soja, pesquisas foram desenvolvidas a partir da inoculação de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, que agem de forma diferente dos inoculantes de rizóbios. Os *Bacillus* não fornecem P, mas tornam este nutriente presente no solo mais acessível para absorção e nutrição das plantas (Oliveira-Paiva et al., 2020; Sousa et al., 2020; Guimarães et al., 2021). Nas avaliações realizadas em áreas de produção de milho, a inoculação resultou em ganho médio de produtividade de 8,9% e aumento de 19% de P exportado para os grãos. Para a soja, a média de produtividade aumentou de 67,2 sacas para 71,6 sacas por hectare (Embrapa, 2021) e 14% do conteúdo de P nos grãos (Oliveira-Paiva et al., 2021; Leite et al., 2022).

Em cana-de-açúcar, ocorreu aumento de 20% na produção por hectare (Embrapa, 2021) e aumento do P disponível do solo rizosférico em 11% nas lavouras tratadas com os dois *Bacillus* (Cançado et al., 2021).

Melhoramento de aproveitamento de nutrientes do solo

Em cerca de 60% das plantas, as associações naturais entre fungos e raízes fornecem os maiores benefícios para os vegetais (Moreira; Siqueira, 2006). As hifas dos fungos denominados micorrizas atuam como uma extensão do sistema radicular, o que possibilita maior eficiência no uso da água e de nutrientes, em especial o P. Além disso, produzem substâncias que modificam os compostos presentes no solo, tornando-os mais disponíveis para as plantas. Contribuem para uma melhor estrutura do solo, secretando substâncias como mucilagens, açúcares e proteínas (glomalina) que atuam como agentes de agregação de partículas e estabilização de agregados (Moreira; Siqueira, 2006).

Há dois tipos principais de micorrizas:

- a) As endomicorrizas, cujas hifas dos fungos penetram nas células da raiz da planta, onde são formadas pequenas estruturas densamente ramificadas, denominadas arbúsculos. As endomicorrizas comumente são chamadas de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), e correspondem à maior parte das micorrizas. A maioria das trocas entre fungos e plantas ocorre nos arbúsculos. As hifas se estendem para o solo por vários centímetros e aumentam significativamente a quantidade absorvida de água, P e outros nutrientes essenciais (Souza et al., 2005).
- b) As ectomicorrizas não atingem as células das raízes, apenas as rodeiam numa espécie de envelope formado pelas hifas. As ectomicorrizas são características de certos grupos de árvores e arbustos encontrados principalmente em regiões temperadas.

As pesquisas envolvendo as micorrizas procuram desenvolver processos de produção de inóculos de FMA. Contudo, o principal obstáculo ao amplo uso desses fungos está na “dificuldade de produção, em larga escala, de inoculantes que atendam as especificações do mercado, em termos de custo, pureza e qualidade” (Souza et al., 2021). Os FMA são biotróficos obrigatórios, dependem da simbiose com raízes de plantas para completar seu ciclo de vida, característica que dificulta a produção axênica do inoculante (França et al., 2014; Fors, 2016). Apesar disso, diversos métodos são citados para produção em larga escala de FMA (Santana et al., 2014). Sistemas mais protegidos, como a produção em estufas ou viveiros, têm sido utilizados para inoculação de mudas ou porta-enxertos (França et al., 2014; Santana, 2014; Fors, 2016). Também foram conduzidas pesquisas para viabilizar o crescimento dos fungos em cultivos celulares.

Na Embrapa Milho e Sorgo, por exemplo, o cultivo de uma estirpe de micorriza em raízes de cenoura demonstrou o potencial para cultivo desse fungo em sistema monoxênico asséptico. Esse sistema é passível de *scale up* para produção massal de inoculante (Souza et al., 2021).

No caso de fungos ectomicorrízicos (não biotróficos), a produção em biorreatores tem sido estudada, com bons resultados (Rossi, 2006; Duarte Filho, 2009). O micélio produzido é posteriormente encapsulado com alginato de cálcio e adicionado às sementes ou plântulas no momento do plantio (Rossi, 2006; Duarte Filho, 2009).

Tolerância a estresses abióticos

Dentre os efeitos benéficos dos inoculantes, destaca-se a mitigação às limitações ambientais de altas temperaturas e estresse hídrico, o que tem exigido esforços de pesquisadores na busca de novas tecnologias para melhorar a produtividade agrícola em condições limitadas de água.

Uma estratégia bastante promissora para melhorar a produtividade agrícola em condições limitadas de água é o uso de rizobactérias osmotolerantes (Khan et al., 2020; Braga et al., 2022), que colonizam o sistema radicular e promovem a captação e o aproveitamento da água presente no solo e, ao mesmo tempo, produzem enzimas e compostos bioativos que protegem plantas dos extremos ambientais. Alguns desses mecanismos incluem indução, na planta hospedeira, de enzimas antioxidantes, produção de exopolissacarídeos e formação de biofilmes, que melhoram a retenção de água pelas raízes, produção de fitormônios, ajustes metabólicos e outros compostos importantes para a tolerância à seca como os osmólitos.

Considerações finais

A Embrapa pesquisa microrganismos que causam efeitos positivos na nutrição de plantas há várias décadas, e foi a responsável pelo desenvolvimento da tecnologia de inoculantes para fixação biológica de nitrogênio. Os microrganismos utilizados em inoculantes para as outras finalidades descritas nesta seção são mais recentes, e, entre 2018 e 2022, foram lançados produtos comerciais que os utilizam, como será visto na próxima seção.

A pesquisa de novas estirpes ou novas espécies de bactérias ou de fungos que possam ser utilizadas como inoculantes continuará sendo prioridade na Embrapa, em busca de ampliação do conhecimento científico e do desenvolvimento de produtos para o agronegócio brasileiro.

Referências

BASHAN, Y.; HOLGUIN, G. *Azospirillum* – plant relationships: environmental and physiological advances (1990-1996). **Canadian Journal of Microbiology**, v. 43, p. 103-121, Feb. 1997. DOI: <https://doi.org/10.1139/m97-015>.

BRAGA, A. P. A.; CRUZ, J. M.; MELO, I. S. de. Rhizobacteria from Brazilian semiarid biome as growth promoters of soybean (*Glycine max* L.) under low water availability. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 53, p. 873-883, Mar. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42770-022-00711-7>.

CANÇADO, G. M. A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA PAIVA, C. A.; CRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES, J. F. G. **Utilização de inoculante líquido solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021. 25 p. (Embrapa Agricultura Digital. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 49).

CASSÁN, F.; CONIGLIO, A.; LÓPEZ, G.; MOLINA, R.; NIEVAS, S.; CARLAN, C. N.; DONADIO, F.; TORRES, D.; ROSAS, S.; PEDROSA, F. O.; SOUSA, E. de; ZORITA, M. D.; DE-BASHAN, L.; MORA, V. Everything you must know about *Azospirillum* and its impact on agriculture and beyond. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, p. 461-479, May 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-020-01463-y>.

CONAB. **Importação de fertilizantes é recorde e chega a 41,6 milhões de toneladas**. Jan. 2022. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4486-importacao-de-fertilizantes-e-recorde-e-chega-a-41-6-milhoes-de-toneladas> Acesso em: 7 nov. 2022.

DUARTE FILHO, P. F. M. **Estudos sobre o crescimento e a viabilidade de fungos ectomicorrízicos em cultivo submerso**. 2009. 114 f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93164>.

Acesso em: 23 nov. 2022.

EMBRAPA. **Inoculantes à base de cepas de *Bacillus* sp. eficientes na solubilização de fosfatos**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9926/inoculantes-a-base-de-cepas-de-bacillus-sp-eficientes-na-solubilizacao-de-fosfatos>. Acesso em: 18 nov. 2022.

FRANÇA, A. C.; CARVALHO, F. P.; FRANCO, M. H. R.; AVELAR, M.; SOUZA, B. P.; STURMER, S. L. Crescimento de mudas de cafeeiro inoculadas com fungos micorrízicos arbusculares. **Agrária: Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 9, n. 4, p. 506-511, 2014.

FORS, R. O. **Identificação, quantificação e inoculação de fungos micorrízicos arbusculares no sistema de produção de cana-de-açúcar**. 2016. 77 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. Disponível em: <https://tede.ufrj.br/jspui/handle/jspui/2302>. Acesso em: 23 nov. 2022.

GUIMARÃES V. F.; KLEIN J.; SILVA, A. S. L.; KLEIN, D. K. Inoculant efficiency containing *Bacillus megaterium* (B119) and *Bacillus subtilis* (B2084) for maize culture, associated with phosphate fertilization. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, 2021.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: a environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>.

KHAN, N.; ALI, S.; TARIQ, H.; LATIF, S.; YASMIN, H.; MEHMOOD, A. Water conservation and plant survival strategies of rhizobacteria under drought stress. **Agronomy**, v. 10, p. 1683, Oct. 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy10111683>.

LEITE, R. C.; PEREIRA, Y. C.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MORAES, A. J. G.; SILVA, G. B. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean co-inoculated with *Bacillus* strains and Arbuscular mycorrhizal fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, art. e0220007, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220007>.

MIRANDA, R. A. **Relatório de avaliação de impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: inoculantes solubilizadores de fosfato**. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2022/relatorios/milhoesorgo_inoculantesdefosfato.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2. ed. Lavras: Ed. da Ufla, 2006. 729 p.

OKON, Y.; LABANDERA-GONZALEZ, C. A. Agronomic applications of *Azospirillum*: an evaluation of 20 years worldwide field inoculation. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 26, n. 12, p. 1591-1601, Dec. 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(94\)90311-5](https://doi.org/10.1016/0038-0717(94)90311-5).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; SOUSA, S. M. de; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (Bacillus subtilis CNPMS B2084 e Bacillus megaterium CNPMS B119) nas culturas de milho e soja**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210).

ROSSI, J. M. **Tecnologia para produção de inoculantes de fungos ectomicorrízicos utilizando cultivo submerso em biorreator Airlift**. 2006. 188 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88954>. Acesso em: 23 nov. 2022.

SANTANA, A. S. de; CAVALCANTE, U. M. T.; SAMPAIO, E. V. S. B.; MAIA, L. C. Production, storage and costs of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). **Brazilian of Journal Botany**, v. 37, p. 159-165, Apr. 2014. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40415-014-0056-3>.

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

SOUSA, T. C. R.; FERNANDES, P. C. C. **Relatório de Avaliação dos Impactos de Soluções Tecnológicas geradas pela Embrapa: fixação biológica do nitrogênio na cultura de soja do cerrado**. Brasília, DF, 2023. Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2022/relatorios/conjunto_cerrados-agrobiologia_fixacaobiologicanitrogenio.pdf. Acesso em: 28 ago. 2023.

SOUZA, F. A.; MACENA, L. H. S.; GOMES-JUNIOR, C. C.; MEDEIROS, M. R.; CARNEIRO, A. A. **Fungo micorrízico arbuscular com potencial para o desenvolvimento de inoculante para a cultura do milho e para a produção de mudas florestais**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 16 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica 276).

SOUZA, V. C.; SILVA, R. A.; CARDOSO, G. D.; BARRETO, A. F. Estudos sobre fungos micorrízicos, **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 3, p. 612-618, set. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662006000300011>.

VIANA, G. **Novo bioinsumo aumenta em até 20% a produtividade da cana-de-açúcar**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/77086074/novo-bioinsumo-aumenta-em-ate-20-a-produtividade-da-cana-de-acucar?p_auth=SmrsDjFV. Acesso em: 20 dez. 2022.

WHITERS, P. J. A.; RODRIGUES, M.; SOLTANGHEISI, A.; CARVALHO, T. S.; GUILHERME, L. R. G.; BENITES, V. M.; GATIBONI, L. C.; SOUSA, D. M. G.; NUNES, R. S.; ROSOLEM, C. A.; ANDREOTE, F. D.;

OLIVEIRA JUNIOR, A.; COUTINHO, E. L. M.; PAVINATO, P. S. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. **Scientific Reports**, v. 8, p. 2537, Feb. 2018. 13 p. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>.

4. Panorama das ações da Embrapa sobre inoculantes para nutrição de plantas entre 2018 e 2022

Ana Paula Artimonte Vaz

Jerri Edson Zilli

Christiane Abreu de Oliveira Paiva

Itamar Soares de Melo

Fábio Bueno dos Reis Junior

Marco Antonio Nogueira

Segundo Sacramento Urquiaga Caballero

Susana Lena Lins de Gois

José Manuel Cabral Sousa Dias

Silvia Kanadani Campos

Introdução

O objetivo deste capítulo foi analisar o panorama das ações da Embrapa entre 2018 e 2022, no que se refere aos inoculantes para nutrição de plantas. O levantamento de projetos de pesquisa em inoculantes e de ativos gerados pela pesquisa (ativos de inovação) foi feito utilizando as bases de dados dos sistemas Ideare (gestão de projetos do macroprocesso de inovação) (Embrapa, 2023a) e Gestec (ativos de inovação tecnológica) (Embrapa, 2023b), considerando o intervalo temporal de 2018 a 2022.

Projetos de PD&I

A busca dos dados no Ideare foi realizada por meio de campos específicos dos sistemas de PD&I e complementados com palavras-chave em campos texto: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, bactérias multifuncionais, *Bradyrhizobium* condicionador, condicionador de solo, fixação biológica, estresse abiótico, fertilizante biológico, fungos endofíticos, fungos micorrízicos, fungos solubilizadores, inoculante,

micorrizas, microrganismos multifuncionais, promotor de crescimento de plantas, promotor de crescimento vegetal, promotores de crescimento, *Pseudomonas*, *Rhizobium*, solubilizador, solubilizadores de fosfato, solubilizadores de fósforo (P), solubilizadores de potássio (K), stress abiótico, tolerância. A busca de dados no Gestec foi realizada por meio dos ativos classificados como inoculantes, suas cepas/estirpes, práticas, metodologias e processos para produção de inoculantes.

Os 61 projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) que atendiam aos critérios de busca utilizados representam cerca de 3% do total de projetos da Embrapa. Dentre esses projetos, 16 são de inovação aberta e envolvem parceiros privados. Os demais projetos são majoritariamente financiados por meio dos recursos públicos. Destaca-se a capilaridade das pesquisas nesse tema pela Embrapa: dos 43 centros de pesquisa distribuídos pelo território nacional, 34 conduzem pesquisas com foco em “nutrição de plantas utilizando microrganismos vivos” (Figura 4.1).

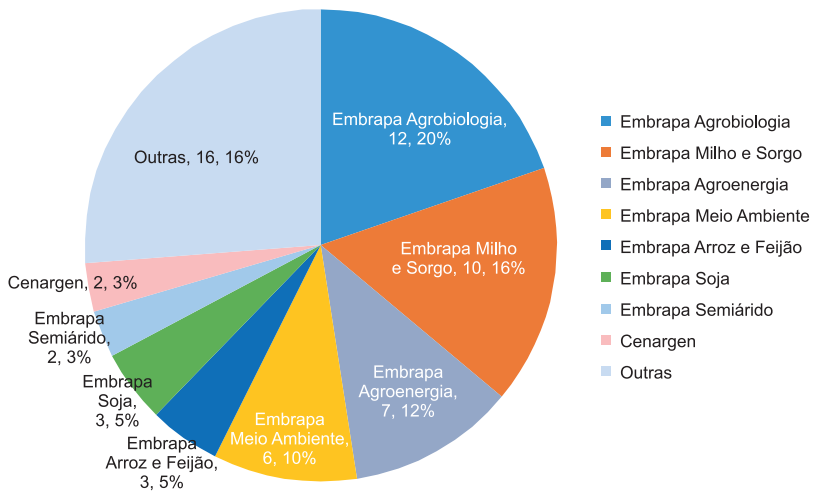


Figura 4.1. Proporção de projetos com inoculantes na Embrapa, em quantidade e percentual, por Unidade Líder do projeto.

Fonte: Embrapa (2023a).

Mais da metade desses projetos (55%) foi conduzida com o apoio de parceiros externos, tais como universidades, institutos de pesquisa, organizações estaduais de pesquisa agropecuária, autarquias, instituições de fomento e empresas privadas.

Ativos de inovação

No período analisado, havia, no portfólio Embrapa, 62 ativos de inovação relacionados com bioinsumos para nutrição vegetal com microrganismos vivos. Desse total, 44 ativos (71%) estavam relacionados ao desenvolvimento de produtos, e os inoculantes (37) eram a maior parte (84%); (Figura 4.2B). No restante do portfólio, havia 9 (15%) práticas agropecuárias, 6 (10%) processos, 1 coleção biológica, 1 banco de dados e 1 metodologia (Figura 4.2A).

A Embrapa Agrobiologia e a Embrapa Semiárido destacavam-se como geradoras dos inoculantes, representando, em conjunto, pouco mais da metade (51,3%) dos produtos gerados (Figura 4.3).

Em relação ao nível de maturidade tecnológica dos ativos, utilizou-se a escala *Technology Readiness Level (TRL)*, originalmente desenvolvida e utilizada pela Nasa com o propósito de indicação do estágio em que uma inovação se encontra para se tornar um produto ou processo comercial (Mankins, 2009; Velho et al., 2017; Ghey et al., 2021)². A maioria dos inoculantes para nutrição de plantas da Embrapa encontrava-se em escala 4 de maturidade tecnológica (ensaios laboratoriais/protótipos), que demanda investimentos em pesquisa, escalonamento, validação e desenvolvimento final das tecnologias. Oito ativos da Embrapa apresentavam nível de maturidade nas escalas *TRL* 8 e 9, associados a tecnologias prontas para disponibilização, inserção no mercado e adoção pelo setor produtivo (Figura 4.4).

⁽²⁾O nível 1 representa a pesquisa básica; o nível 2, a formulação da tecnologia; os níveis 3 ao 6 englobam o desenvolvimento experimental (nível 3 representa pesquisa aplicada; 4, o teste em escala reduzida; 5, o teste em escala piloto; e, o 6, protótipo em teste). Já o nível 7 é de demonstração do protótipo em ambiente operacional; o 8 é a fase pré-comercial; e o nível 9 é de aplicação da tecnologia (comercialização) (Velho et al., 2017; Ghey et al., 2021).

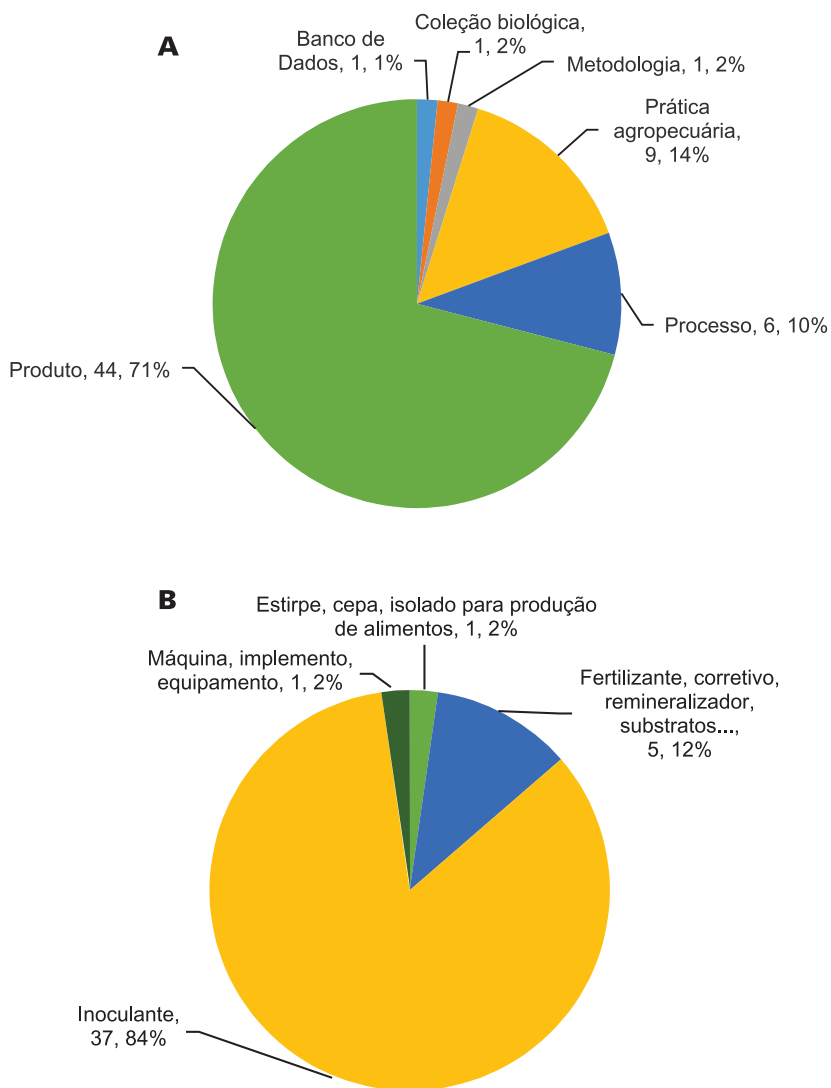


Figura 4.2. Proporção da tipologia de ativos gerados nos projetos de pesquisa da Embrapa (A) e subtipo dos ativos qualificados como produto (B).

Fonte: Embrapa (2023b).

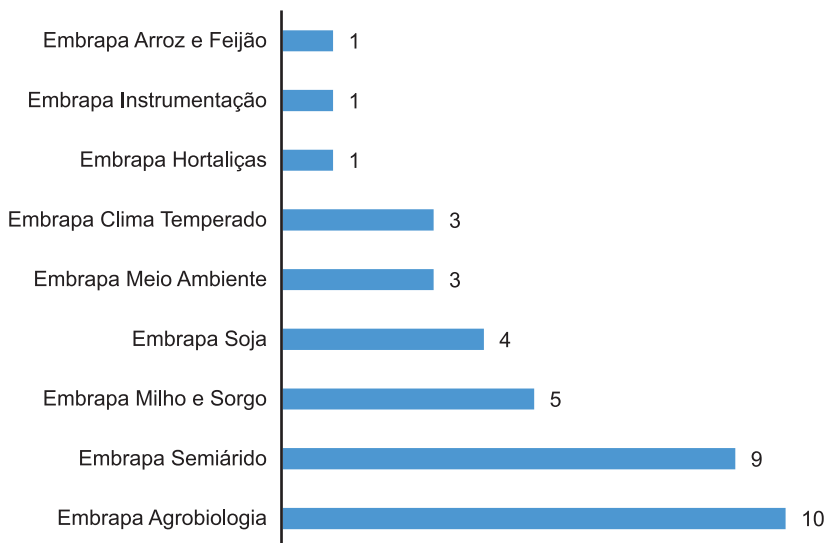


Figura 4.3. Número de inoculantes gerados por Unidades da Embrapa.

Fonte: Embrapa (2023b).

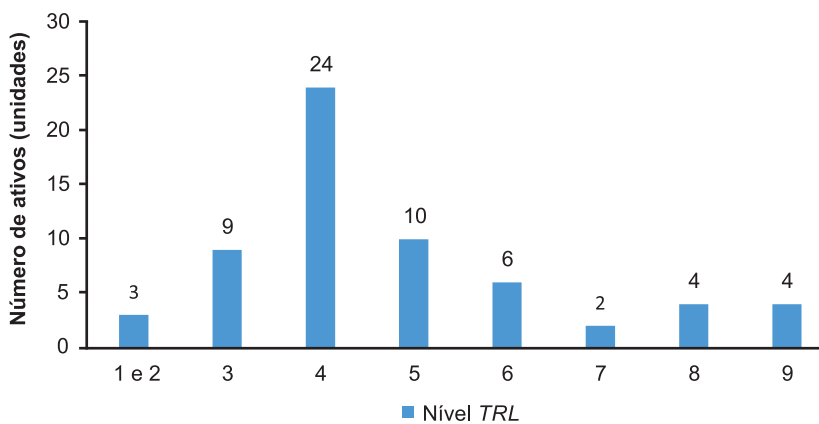


Figura 4.4. Número de ativos gerados na Embrapa.

Fonte: Embrapa (2023b).

As bactérias representam o grupo de microrganismos mais pesquisado e utilizado para o desenvolvimento de inoculantes (Figura 4.5), sendo que os gêneros *Rhizobium* e *Azospirillum* são 51,7% do total dos microrganismos presentes nos inoculantes gerados pela Embrapa (Figura 4.6).

As culturas de soja, milho e trigo são os principais alvos dos inoculantes pesquisados na Embrapa, com efeitos voltados principalmente para a fixação biológica de nitrogênio (15 ativos), seguida da promoção do crescimento das plantas (13 ativos) e tolerância à seca (5 ativos) (Figura 4.7). Além das cadeias produtivas de grãos, os inoculantes bacterianos da Embrapa são direcionados para pastagens, cana-de-açúcar, espécies florestais e amendoim (Figura 4.8). É importante mencionar que os inoculantes para pastagens direcionam-se especificamente às braquiárias.

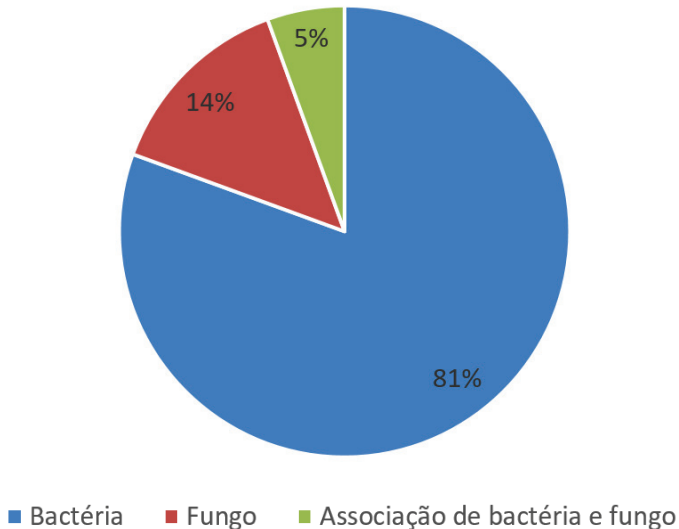


Figura 4.5. Proporção dos tipos de microrganismos presentes nos inoculantes gerados pela Embrapa.

Fonte: Embrapa (2023b).

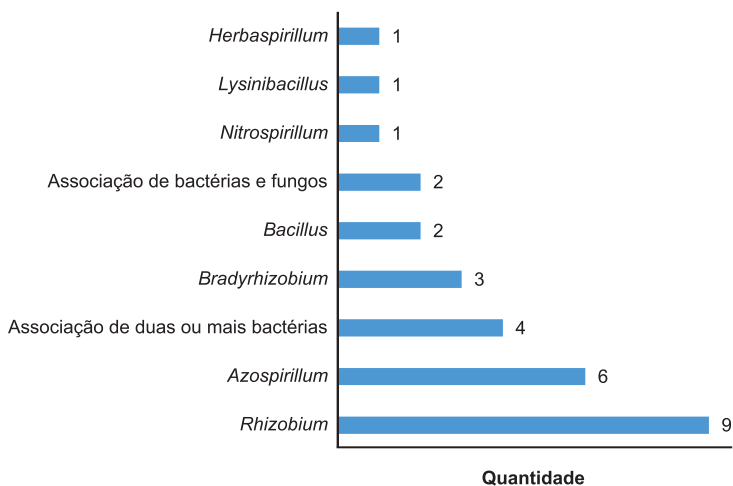


Figura 4.6. Quantidade de gêneros de bactérias presentes nos inoculantes desenvolvidos.

Fonte: Embrapa (2023b).

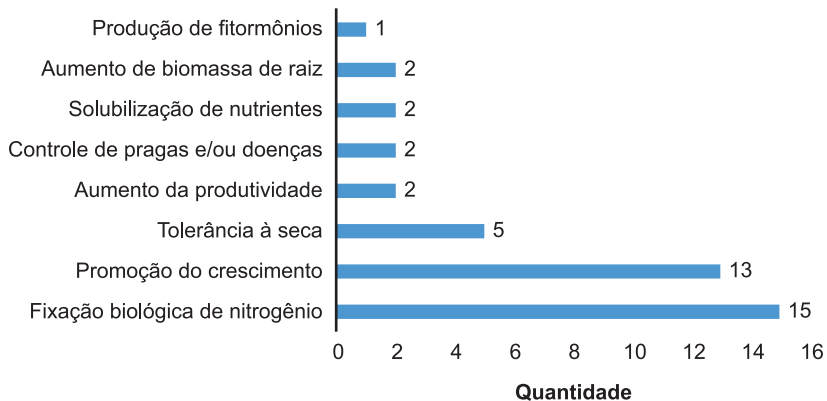


Figura 4.7. Número de inoculantes, por efeito principal nas culturas.

Fonte: Embrapa (2023b).

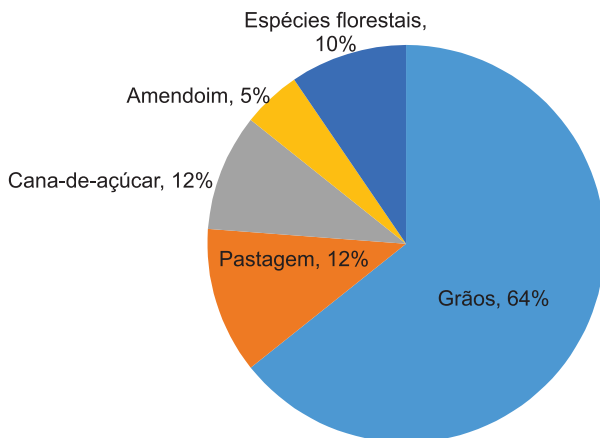


Figura 4.8. Proporção das principais cadeias produtivas dos inoculantes à base de bactérias.

Fonte: Embrapa (2023b).

Além de milho e soja, destaca-se, ainda, a importância do uso desses inoculantes para efeitos diversos nas cadeias produtivas do arroz, do feijão-caupi ou comum, do trigo e do sorgo (Tabela 4.1). Dentre os grãos, todavia, a Tabela 4.1 ilustra as culturas a eles associados, que representam 64,3% das culturas-alvo dos inoculantes à base de bactérias.

Tabela 4.1. Proporção relativa de grãos associados aos inoculantes à base de bactérias.

Grão	Proporção (%)
Milho	37,0
Soja	18,5
Arroz	14,8
Feijão-caupi ou comum	14,8
Trigo	11,1
Sorgo	3,8

Fonte: Embrapa (2023b).

Os quatro ativos de inovação que se encontravam em *TRL* 9 (Figura 4.4) foram efetivamente lançados no mercado para comercialização, com diferentes nomes e apresentações (Tabela 4.2).

A tabela reúne os produtos para nutrição de plantas lançados de 2018 a 2022 que foram desenvolvidos pela Embrapa em conjunto com empresas privadas. Esses inoculantes têm características inovadoras, pois, além de conter microrganismos que ainda não haviam sido utilizados comercialmente no Brasil, também exploram tecnologias distintas das usuais.

O Aprinza, por exemplo, contém *Nitrospirillum amazonense*, bactéria fixadora de nitrogênio de vida livre. A Embrapa Agrobiologia, em parceria com a empresa Basf, lançou, em 2018, esse inoculante que promove o aumento das raízes e da área foliar, e é o primeiro desenvolvido especificamente para a cana-de-açúcar.

Outra inovação trazida pela pesquisa da Embrapa potencializou o uso do *Azospirillum brasilense*, lançado em 2016 (Hungria et al., 2016), para diversas culturas, e que passou a ser utilizado em pastagens de braquiárias a partir de 2021. O produto comercial, Pastomax, é um inoculante multifuncional de aplicação foliar que contém *A. brasilense*, e um isolado de *Pseudomonas fluorescens*, produzido por intermédio de parceria entre a Embrapa Soja e a empresa Biotrop (Hungria et al., 2021).

O uso dessas bactérias, combinando diferentes mecanismos de ação, promove o crescimento e melhora a aquisição de nutrientes pela planta. Enquanto *A. brasilense* é capaz de fixar N e, principalmente, produzir hormônios vegetais, especialmente auxinas, como o ácido indolacético, estimulando o crescimento das raízes, *P. fluorescens* pode solubilizar fosfatos e produzir sideróforos que auxiliam na captura de nutrientes como o P e o ferro (Fe), além de também produzir hormônios vegetais (Hungria et al., 2021).

Outro fenômeno que tem exigido esforços de pesquisadores em busca de novas tecnologias para melhorar a produtividade agrícola é a seca, um dos estresses naturais que mais impacta a agricultura. O uso de bactérias osmotolerantes que colonizam o sistema radicular e promovem a captação e o aproveitamento da água presente

Tabela 4.2. Bioinsumos para nutrição de plantas e proteção à seca, lançados pela Embrapa de 2018 a 2022, microrganismos componentes, Unidades da Embrapa e parceiros responsáveis pelo desenvolvimento.

Produto	Efeito	Microorganismo	Cultura	Unidade da Embrapa	Empresa parceira
Auras	Crescimento da planta e proteção contra efeitos da seca	<i>Bacillus aryabhattai</i>	Milho	Embrapa Meio Ambiente e Embrapa Semiárido	Nooa
Pastomax	Crescimento e melhora da aquisição de nutrientes pelas plantas	<i>Azospirillum brasilense</i> + <i>Pseudomonas fluorescens</i>	Braquiária	Embrapa Soja	Biotrop
Aprinza	Fixação biológica de nitrogênio	<i>Nitrospirillum amazonense</i>	Cana-de-açúcar	Embrapa Agrobiologia	Basf
Biomaphos	Solubilização do fósforo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	Milho e soja	Embrapa Milho e Sorgo	Bioma
Omsugo Eco	Solubilização do fósforo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	Cana-de-açúcar	Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Agricultura Digital	Simbiose e Corteva
Omsugo P	Solubilização do fósforo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	Soja	Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Agricultura Digital	Simbiose e Corteva
SolubPHOS ⁽¹⁾	Solubilização do fósforo	<i>Bacillus subtilis</i> + <i>Bacillus megaterium</i>	Soja	Embrapa Milho e Sorgo e Embrapa Agricultura Digital	Simbiose e Corteva

⁽¹⁾ Aprovado para comercialização nos Estados Unidos.

no solo pode ter efeitos positivos na mitigação da seca. A Embrapa Meio Ambiente, a Embrapa Semiárido e a Nooa Ciência e Tecnologia Agrícola desenvolveram o inoculante Auras, cujo princípio ativo é a bactéria esporulante *Bacillus aryabathaii*. Além de produzir hormônios vegetais que promovem o crescimento das plantas, a bactéria é capaz de protegê-las dos efeitos adversos do estresse hídrico, pela indução de tolerância sistêmica, por meio da produção de exopolissacarídeos e outros compostos (Kavamura et al., 2013).

Em 2019, as pesquisas com foco na otimização da fertilização fosfatada conduzidas pela Embrapa Milho e Sorgo em conjunto com a empresa Bioma deram origem ao primeiro inoculante para solubilização de fosfato em milho e soja no Brasil, o BiomaPhos (Tabela 4.2). Produzido a partir de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*, BiomaPhos é um inoculante líquido recomendado para tratamento de sementes ou aplicação via jato dirigido no sulco de semeadura que se associa à planta desde o início da formação das raízes. Os *Bacillus* presentes no produto colonizam a rizosfera da planta e iniciam a produção de diferentes ácidos orgânicos, enzimas, exopolissacarídeos (EPS), sideróforos, entre outras substâncias ligadas à ciclagem de P no solo e promoção do crescimento das raízes (Oliveira-Paiva et al., 2020; Sousa et al., 2021). Nas avaliações realizadas em áreas de produção de milho, a inoculação resultou em ganho médio de produtividade de 8,9% (Oliveira-Paiva et al., 2020; Guimarães et al., 2021) e aumento de 19% de P exportado para os grãos. Para a soja, a média de produtividade aumentou de 67,2 sacas para 71,6 sacas por hectare (Embrapa, 2021) e 14% do conteúdo de P nos grãos (Oliveira-Paiva et al., 2021).

O documento Inoculantes Solubilizadores de Fosfato (Miranda, 2023), utilizado para a elaboração do Balanço Social da Embrapa 2022 (Embrapa, 2023c), aponta que

[...] a área de adoção da solução tecnológica na safra 2018/2019 foi de 228.280 hectares no primeiro ano de adoção e chegando a 339.610 hectares no ano seguinte, na safra 2019/2020. A confirmação da eficiência do produto a nível comercial nos dois primeiros anos resultou no grande

sucesso na safra 2020/2021, quando alcançou a marca de 2.450.150 hectares. Em 2021/2022, o recorde do ano anterior foi superado, chegando a 2.766.310 hectares, conforme informações fornecidas pela empresa Biom.

Posteriormente, a Embrapa Agricultura Digital, em parceria com a Embrapa Milho e Sorgo, conduziu um projeto de cooperação técnica com a empresa Simbiose, comprovando a eficácia do inoculante BiomaPhos para a cultura da cana-de-açúcar.

Testes realizados a campo com diferentes variedades e em condições de cultivo semelhantes ao manejo comercial da cultura geraram resultados que subsidiaram a empresa Simbiose a aprovar no Mapa o registro para uso comercial do inoculante BiomaPhos na cultura da cana-de-açúcar. Em cana-de-açúcar, ocorreu aumento de 20% na produção por hectare e aumento do P disponível do solo rizosférico em 11% nas lavouras tratadas com os dois *Bacillus* (Cançado et al., 2021).

Recentemente, o BiomaPhos teve seu registro aprovado para uso em sete estados americanos pela Agência de Proteção Ambiental (EPA, sigla em inglês) dos Estados Unidos da América, com o nome comercial SolubPHOS.

Considerações finais

A Embrapa tem reconhecida liderança mundial na pesquisa, desenvolvimento e validação de inoculantes para a agricultura, o que valoriza sua marca e dá maior percepção de valor aos seus produtos, além da credibilidade no estabelecimento de parcerias com empresas nacionais e estrangeiras. A Empresa dispõe ainda de Bancos de Germoplasma Microbiano que isolam, caracterizam, conservam e mantêm registros de novas estirpes, e são fonte de material biológico caracterizado e disponível para a produção de inoculantes.

Em conjunto com empresas privadas, a Embrapa lançou, nos últimos 5 anos, sete inoculantes com atividades e microrganismos diferentes dos que existiam anteriormente no mercado, o que evidencia sua competência em inovar e explorar novos mercados.

Atualmente, 34 centros de pesquisa da Embrapa executam projetos de PD&I relacionados a inoculantes, com destaque para a disponibilidade de equipes técnicas capacitadas e a capilaridade e transversalidade do tema na Empresa. A Embrapa atua ainda como referência nacional no fornecimento de informações às diferentes instâncias do governo brasileiro e subsidia a concepção e o desenvolvimento de diversas políticas públicas e regulamentações relacionadas aos bioinsumos.

A Embrapa tem investido no desenvolvimento de novas tecnologias de produção massal de microrganismos, bem como de novas formulações (veículos, aditivos, protetores celulares, biopolímeros, etc.) que possam ampliar a sobrevivência e a manutenção de altas concentrações de células das estirpes durante o transporte, armazenamento e a aplicação de inoculantes na sementeira. Como resultado, haverá aumento da eficiência e redução dos custos dos bioinsumos.

A Empresa tem realizado, ainda, estudos para desenvolvimento de formulados microbianos a serem veiculados em conjunto com fertilizantes minerais, orgânicos ou organominerais, a fim de reduzir o custo de aplicação e ampliar o mercado. Outra frente de pesquisa envolve o desenvolvimento de inoculantes com aditivos, consórcios microbianos multifuncionais e de comunidades sintéticas (SynCom).

A aplicação de engenharia genética, metagenômica e identificação de microrganismos com características específicas (ex. osmotolerantes, compatíveis com produtos químicos, etc.), prospecção de microbiota associada às plantas sob condições extremas, e o estudo de fungos micorrízicos associados a diferentes espécies vegetais têm sido temas de novas pesquisas na Embrapa.

A maioria dos ativos de inovação são desenvolvidos a partir de bactérias, sobretudo dos gêneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, com efeito de fixação biológica de N e promoção do crescimento para grãos, em particular, milho e soja. Pesquisas têm avançado em outras culturas como a cana-de-açúcar e espécies florestais. Contudo, é necessário desenvolvimento de estudos que avaliem a ampliação de outros microrganismos, com diferentes modos de ação e aplicação em culturas diferentes.

Apesar das perspectivas positivas para o setor, são inúmeros os desafios a serem enfrentados. Conforme evidenciado, a maior parte dos ativos de inovação da Embrapa no tema “bioinsumos para nutrição de plantas” chega ao estágio experimental, com desenvolvimento de protótipo, porém a minoria atinge níveis de *TRL* mais altos. Para que os ativos de inovação da Empresa cheguem às escalas de maturidade tecnológica próximas à finalização para posicionamento e inserção no mercado, torna-se, a cada dia, mais relevante o estabelecimento de parcerias com empresas ou consórcios nacionais e internacionais.

Referências

CANÇADO, G. M. A.; VASCONCELOS, J. C. S.; OLIVEIRA PAIVA, C. A.; CHRISTOFOLETTI, D.; SEVERINO, F. J.; PINTO JUNIOR, A. S.; MEDEIROS, G. de; BARBOSA, L. A. F.; SPERANZA, E. A.; ANTUNES J. F. G. **Utilização de inoculante líquido solubilizador de fosfato formulado a base dos isolados de *Bacillus megaterium* (b119) e *Bacillus subtilis* (b2084) no plantio da cana-de-açúcar**. Campinas: Embrapa Agricultura Digital, 2021. 25 p.(Embrapa Agricultura Digital. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 49).

EMBRAPA. **Balanco social 2022**. Brasília, DF: Embrapa Superintendência de Comunicação: Superintendência de Estratégia, 2023c. 67 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/balanco-social-2022>. Acesso em: 1 jun. 2023.

EMBRAPA. **Inoculantes à base de cepas de *Bacillus* sp. eficientes na solubilização de fosfatos**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/9926/inoculantes-a-base-de-cepas-de-bacillus-sp-eficientes-na-solubilizacao-de-fosfatos>. Acesso em: 18 nov. 2022.

EMBRAPA. **Sistema de Gestão de Projetos – SEG (Ideare)**. Brasília, DF, 2023a. Disponível em: <https://sistemas.sede.embrapa.br/ideare/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

EMBRAPA. **Sistema de Gestão dos Ativos Tecnológicos da Embrapa (Gestec)**. Brasília, DF, 2023b. Disponível em: <https://sistemas.sede.embrapa.br/gestec/>. Acesso em: 4 jan. 2023.

GHEYI, M.; MARINHO, M.; FERNANDES, P.; DAMÁSIO, J. **Por que utilizar o conceito de TRL em projetos de inovação?** Campina Grande, 2021.

Disponível em: <https://www.virtus.ufcg.edu.br/por-que-utilizar-o-conceito-de-trl-em-projetos-de-inovacao/>. Acesso em: 4 maio 2023.

GUIMARÃES, V. F.; KLEIN, J.; SILVA, A. S. L.; KLEIN, D. K. Eficiência de inoculante contendo *Bacillus megaterium* (B119) e *Bacillus subtilis* (B2084) para a cultura do milho, associado à fertilização fosfatada. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, e431101220920, 2021. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20920>.

HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; ARAUJO, R. S. Inoculation of *Brachiaria* spp. with the plant growth-promoting bacterium *Azospirillum brasilense*: an environment-friendly component in the reclamation of degraded pastures in the tropics. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 221, p. 125-131, Apr. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.024>.

HUNGRIA, M.; RONDINA, A. B. L.; NUNES, A. L. P.; ARAUJO, R. S.; NOGUEIRA, M. A. Seed and leaf-spray inoculation of PGPR in brachiarias (*Urochloa* spp.) as an economic and environmental opportunity to improve plant growth, forage yield and nutrient status. **Plant and Soil**, v. 463, p. 171-186, Mar. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11104-021-04908-x>.

KAVAMURA, V. N.; SANTOS, S. N.; SILVA, J. L.; PARMA, M. M.; AVILA, L. A.; VISCONTI, A.; ZUCCHI, T. D.; TAKETANI, R. G.; ANDREOTE, F. D.; MELO, I. S. Screening of Brazilian cacti rhizobacteria for plant growth promotion under drought. **Microbiological Research**, v. 168, n. 4, p. 183-191, May 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2012.12.002>.

LEITE, R. C.; PEREIRA, Y. C.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; MORAES, A. J. G.; SILVA, G. B. Increase in yield, leaf nutrient, and profitability of soybean co-inoculated with *Bacillus* strains and Arbuscular corrhizal fungi. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 46, art. e0220007, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20220007>.

MANKINS, J. C. Technology readiness assessments: a retrospective. **Acta Astronautica**, v. 65, n. 9-10, p. 1216-1223, Nov./Dec. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.058>.

MIRANDA, R. A. **Relatório de avaliação de impactos de tecnologias geradas pela Embrapa: inoculantes solubilizadores de fosfato.**

Disponível em: https://bs.sede.embrapa.br/2022/relatorios/milhoesorgo_inoculantesdefosfato.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; BINI, D.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SANTOS, F. C.; COTA, L. V.; SOUSA, S. M. de; ALVES, V. M. C.; LANA, U. G. P.; SOUZA, F. F. **Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2021. 17 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Comunicado técnico, 252).

OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; COTA, L. V.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. P.; SANTOS, F. C. dos; PINTO JUNIOR, A. S.; ALVES, V. M. C. **Viabilidade técnica e econômica do Biomaphos® (*Bacillus subtilis* CNPMS B2084 e *Bacillus megaterium* CNPMS B119) nas culturas de milho e soja.** Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 20 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 210).

SOUSA, S. M. de; OLIVEIRA, C. A.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G.; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. P.; GOMES, E. A. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 40, p. 867-877, May 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10146-9>.

VELHO, S. R. K.; SIMONETTI, M. L.; SOUZA, C. R. P. de; IKEGAMI, M. Y. Nível de maturidade tecnológica: uma sistemática para ordenar tecnologias. **Parcerias Estratégicas**, v. 22, n. 45, p. 119-140, jul./dez. 2017.



CGPE 18718