

RESSALVA

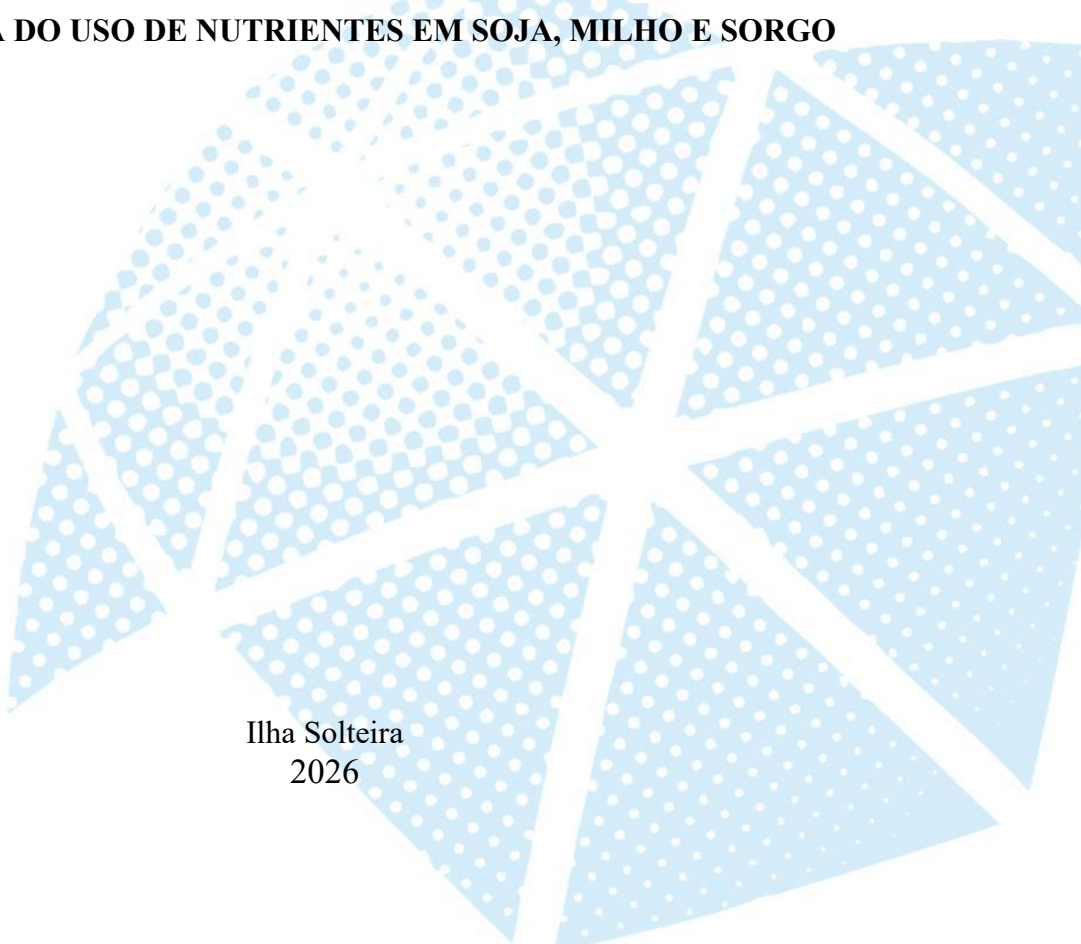
Atendendo a solicitação do autor, o
arquivo completo desta dissertação
será disponibilizado somente a
partir de 26/03/2028.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

SÍLVIO LUÍS DE CARVALHO

**RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL (RPCP) NA
EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES EM SOJA, MILHO E SORGO**

Ilha Solteira
2026



SÍLVIO LUÍS DE CARVALHO

**RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DE CRESCIMENTO VEGETAL (RPCP) NA
EFICIÊNCIA DO USO DE NUTRIENTES EM SOJA, MILHO E SORGO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira/UNESP, para obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Área de Concentração: Sistemas de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza

Coorientadora: Prof. Dra. Liliane Santos de Camargos

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvida pela Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação

C331r Carvalho, Sílvio Luís de.
Rizobactérias promotoras de crescimento vegetal (RPCP) na eficiência do uso de nutrientes em soja, milho e sorgo / Sílvio Luís de Carvalho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
63 f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Sistemas de Produção, 2026

Orientador: Lucas Anjos de Souza
Coorientadora: Liliane Santos de Camargos
Inclui bibliografia

1. *Bacillus*. 2. Biofertilização. 3. Bioinsumo. 4. *Glycine max*. 5. *Sorghum bicolor* (L.) Moench. 6. *Zea mays* L.

IMPACTO POTENCIAL DESTA PESQUISA

A produção de grãos sobretudo soja, milho e sorgo enfrenta, em escala global, a prática do uso intensivo de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, que eleva os custos dos insumos, compromete a segurança alimentar, gera pressões sobre fontes finitas de nutrientes e aumenta o risco de contaminação de águas superficiais e subterrâneas; diante desse cenário, a busca por fontes alternativas sustentáveis de fertilização tornou-se urgente, e entre as abordagens mais promissoras está o uso de microrganismos benéficos cujas interações com as plantas constituem um paradigma bem estabelecido na agricultura, de modo que os experimentos avaliaram o efeito de rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) *Bacillus megaterium*, *B. haynesii* e *B. firmus* sobre a eficiência do uso de fósforo (EUP) na soja e a eficiência de uso de nitrogênio (EUN) no milho e no sorgo, demonstrando, em experimentos realizados tanto em casa de vegetação quanto em quatro ensaios de campo (safra e safrinha) que a inoculação melhorou a eficiência do uso de fósforo na soja e a eficiência de uso de nitrogênio no milho e no sorgo, ao mesmo tempo em que permitiu a redução das doses minerais para 80 % da taxa recomendada de P_2O_5 na soja e 90 % da taxa de N no milho e no sorgo.

Nesse sentido os dados obtidos contribuem com a comunidade em geral ao concluir com a possibilidade da diminuição de 10-20 % no consumo de fertilizantes minerais, a pesquisa é referência para o desenvolvimento de estratégias voltadas à melhoria da produtividade sustentável que podem ser utilizados como recomendação agrônômica, para estudos futuros ou para servirem de referência e colaboração com centros de pesquisa nacionais ou estrangeiros ampliando a visibilidade da ciência brasileira, facilitando a troca de tecnologias e a geração de projetos conjuntos abrindo caminhos para novos estudos sobre absorção de nutrientes mediado por RPCP.

A economia de uso de fertilizantes eleva ganhos dos produtores, contribuindo para a segurança alimentar e para a melhoria da renda familiar, cria ainda oportunidades de formação de recursos humanos com conhecimento interdisciplinar, compreendendo microbiologia agrícola, manejo integrado de nutrientes e sustentabilidade ambiental. Realizados em Goiás, os experimentos permitem aplicações regionais, nacionais e naturalmente a internacionalização, que emerge organicamente, visto que a temática de RPCP e uso eficiente de nutrientes é de interesse global. Em síntese, a pesquisa combina ciência avançada, tecnologia prática, benefícios socioeconômicos, reforça desenvolvimento sustentável e educacional, oferecendo um caminho viável para a transição da agricultura brasileira rumo a sistemas mais produtivos, resilientes e ambientalmente responsáveis, ao mesmo tempo em que cria bases sólidas para a colaboração internacional e para políticas públicas voltadas à agricultura eficiente.

POTENTIAL IMPACT OF THIS RESEARCH

The global production of grains particularly soybeans, corn, and sorghum relies heavily on intensive applications of nitrogen- and phosphate-based fertilizers. This practice drives up input costs, threatens food security, strains finite nutrient reserves, and heightens the risk of contaminating both surface and groundwater. In light of these challenges, finding sustainable, alternative sources of fertilization has become urgent. Among the most promising solutions is the use of beneficial microorganisms whose interactions with plants are a well-established paradigm in modern agriculture. In this vein, a series of experiments investigated the impact of plant-growth-promoting rhizobacteria (PGPR) *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii*, and *Bacillus firmus* on Phosphorus use efficiency (EUP) in soybeans, and Nitrogen use efficiency (NUE) in corn and sorghum. Both greenhouse trials and four field experiments (covering a main crop and a second-crop season) demonstrated that inoculating the crops with these bacteria improves EUP in soybeans and NUE in corn and sorghum. Moreover, the inoculation enabled a reduction of mineral fertilizer rates to 80 % of the recommended P_2O_5 dose for soybeans and 90 % of the recommended nitrogen dose for corn and sorghum.

Consequently, the results suggest that a 10–20 % reduction in mineral fertilizer consumption is attainable a finding that benefits the wider scientific community. This work provides a solid reference for developing sustainable-productivity strategies that can be adopted as agronomic recommendations, served as a basis for future research, or used as a collaborative benchmark by national and international research centers, thereby boosting the visibility of Brazilian science, fostering technology exchange, and encouraging joint projects.

The fertilizer savings translate into higher earnings for producers, reinforce food security, and uplift family incomes. At the same time, they create opportunities to train interdisciplinary human resources in agricultural microbiology, integrated nutrient management, and environmental sustainability. Conducted in Goiás, the experiments have relevance at regional, national, and naturally international levels, since the topics of PGPR and efficient nutrient use attract global interest. In summary, this research blends cutting-edge science with practical technology and socio-economic benefits; it strengthens sustainable development and education, offering a viable pathway for Brazilian agriculture to evolve toward more productive, resilient, and environmentally responsible systems, while laying a robust foundation for international collaboration and public policies that promote efficient farming.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: Rizobactérias promotoras de crescimento de plantas (RPCP) na eficiência do uso de nutrientes em soja, milho e sorgo

AUTOR: SÍLVIO LUÍS DE CARVALHO

ORIENTADOR: LUCAS ANJOS DE SOUZA

COORDINADOR: COORDINADORA: LILIANE SANTOS DE CAMARGOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS ANJOS DE SOUZA**
Data: 29/04/2026 14:39:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. LUCAS ANJOS DE SOUZA (Participação Virtual)
Campus de Rio Verde / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - IFGoiano

Documento assinado digitalmente
 **MARTHA FREIRE DA SILVA**
Data: 04/05/2026 15:24:27-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. MARTHA FREIRE DA SILVA (Participação Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio-Economia / UNESP / Câmpus de Ilha Solteira - FEIS

Documento assinado digitalmente
 **PAULO RENATO MATOS LOPES**
Data: 04/05/2026 16:45:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. PAULO RENATO MATOS LOPES (Participação Virtual)
Departamento de Produção Vegetal / UNESP / Câmpus de Dracena - FCAT

Documento assinado digitalmente
 **SIHELIO JULIO SILVA CRUZ**
Data: 04/05/2026 21:13:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. SIHELIO JÚLIO SILVA CRUZ (Participação Virtual)
Campus de Iporá / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - IFGoiano

Documento assinado digitalmente
 **JOSE MILTON ALVES**
Data: 05/05/2026 09:34:41-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. JOSÉ MILTON ALVES (Participação Virtual)
Campus de Rio Verde / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - IFGoiano

Ilha Solteira, 26 de março de 2026.

DEDICATÓRIAS

Dedico e ofereço este trabalho aos meus pais, Maria Lúcia (*In Memoriam*) e Alberto (*In Memoriam*) como gratidão pelo exemplo de caráter, dedicação e correção para o enfrentamento desta vida adulta, pelo zelo e conforto oferecidos, cuidado e exigências com minha educação, pela retidão na cobrança de responsabilidades, pela alegria e apoio de uma família unida. Aos meus sogros, Elza e José (*In Memoriam*) pelo privilégio de meu ingresso em seu convívio familiar, pelo compartilhamento das conquistas e vitórias, compreensão nos momentos de fraqueza e companheirismo demonstrado pelo apoio constante.

Dedico às minhas filhas, Letícia e Juliana, à minha neta Luísa, ao meu filho/genro Lucas presentes do Papai do céu, criaturas especiais e a melhor realização de minha vida. Tenho orgulho de vocês e de tudo o que fazem. Amo vocês!

Por fim, dedico à minha esposa Mônica, pela imensa alegria de viver, força, determinação, apoio e zelo com as crianças. Exemplo de mãe dedicada!

Companheira em absolutamente todos os percursos de nossa jornada! Pelo suporte sempre presente em forma de apoio, carinho, conselhos, paciência, dedicação, esforços incansáveis, compartilhados nos bons e maus momentos e por seu amor incondicional. Por sua compreensão durante minhas frequentes ausências, devido às constantes viagens e à minha carga excessiva de trabalho. Esta pesquisa de doutorado só se realizou com seu apoio, pois eu nada seria sem você, e o susto que você me deu foi grande.

Foram de extrema importância o seu sorriso, o seu conforto e o seu apoio nos momentos de angústia, bem como sua contagiante alegria nos bons momentos. Obrigado por continuar fazendo parte da minha vida. Admiro, amo e sempre amarei você.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder uma vida abençoada, dar calma, saúde, gratidão, alegria, além de proporcionar-me tranquilidade, força e sabedoria nos momentos turbulentos e de dificuldades enfrentados nesta caminhada, permitindo a realização deste meu trabalho. Meus pais, sogros, irmãos, Márcia Maria, Carlos Alberto e André Fernando, cunhados “irmãos” Marcia Regina, Marta Cristina, Maria Danuza e Junior e a todos os meus sobrinhos e sobrinhos “netos”, pelo carinho recebido, pela compreensão de meus defeitos, pela família unida, de forma simples, harmoniosa e feliz. Amo todos vocês e sempre os terei em minhas lembranças.

Ao orientador, Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza pelo convite e incentivo para continuar meus estudos, pela confiança, acolhimento, amizade sincera, humildade, exemplo de superação, estímulos, conselhos e ensinamentos. Enfrentamos muitas juntos, desde momentos complicados de saúde ao bate papo informal. Sem dúvidas, sua orientação foi decisiva para que pudéssemos executar este trabalho, que se resume à realização de um sonho. À coorientadora, Prof^a. Dr^a. Liliane Santos de Camargos, pela parceria, amizade, confiança, simpatia, apoiando desde o início deste estudo, contribuindo muito para esta pesquisa.

Ao Engenheiro Agrônomo Me. Henrique Moraes, sócio proprietário da Test Agro em Rio Verde GO, meus sinceros e eternos agradecimentos pela colaboração. Aos Professores da FEIS Unesp Ilha Solteira do programa de Doutorado, através da Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA), nas pessoas do Prof. Dr. Marcelo Carvalho Minhoto Teixeira Filho e da Prof^a. Dr^a. Liliane Santos de Camargos os parabênizo pelos ensinamentos e dedicação com a formação de novos pesquisadores. À Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Unesp FEIS – Campus Ilha Solteira, às profissionais Graciele e Thais da Seção Técnica de Pós-graduação (STPG), e Raiane da Biblioteca (FEIS) em nome de quem cumprimento todos os Servidores da Instituição Unesp Ilha Solteira.

À Nomon Coprocessamento e Transformação de Resíduos (Nomon Bioscience), ao Grupo J. Barcelos, e ao Grupo Incinera. Ao grupo de estudos na pessoa da aluna Jeany. Aos colegas do Unicerrado, nas pessoas do Prof. Dr. Riccely, Dr^a. Kássia e Esp. Lourenço, expresse minha gratidão pelos momentos de companheirismo e apoio. Por fim, agradeço aos membros da banca examinadora pelas contribuições e ensinamentos, e a todos que de alguma forma me apoiaram nesta jornada de estudos e muito trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

A dependência brasileira de fertilizantes minerais importados enseja descobertas de fertilização que promovam menor dependência externa de fertilizantes e contribuam com tecnologias que propiciem melhor aproveitamento dos nutrientes absorvidos pelas plantas. O estudo avaliou a capacidade de rizobactérias do gênero *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus firmus* em melhorar a eficiência de uso de fósforo na soja e de nitrogênio no milho e no sorgo quando aplicadas em mistura pulverizada na linha de plantio. Na soja, o fósforo é um nutriente limitante e sua recuperação costuma ser baixa devido à imobilização no solo, foram testadas duas cultivares sob doses de 100 %, 90 % e 80 % de P_2O_5 , com e sem inoculantes. A combinação de 80 % da dose recomendada de fósforo com *Bacillus* spp. superou todos os demais tratamentos, proporcionando maior EUP e melhor conversão de quilogramas de P aplicado no solo em quilogramas de grãos. No milho e no sorgo, culturas que demandam nitrogênio e apresentam baixa recuperação do N mineral aplicado, foram avaliadas duas cultivares, uma de milho e uma de sorgo sob doses de 100 %, 95 % e 90 % de fertilizante nitrogenado, novamente com e sem os mesmos microrganismos. A dose de 90 % de N associada a *Bacillus* spp. resultou em maior EUN e em maior eficiência na conversão de N em grãos. Em cinco experimentos (três de soja, um de milho e um de sorgo), a associação das bactérias com doses reduzidas de fertilizante mostrou-se tecnicamente eficaz, podendo gerar economias ao diminuir a necessidade de insumos químicos, ao mesmo tempo em que reduz os impactos ambientais decorrentes da lixiviação e da emissão de gases associados ao uso excessivo de fertilizantes. Assim, o manejo integrado de nutrientes mediante inoculantes microbianos oferece uma alternativa viável, econômica e sustentável para a produção de soja, milho e sorgo no Brasil.

Palavras-chaves: *Bacillus*; biofertilização; bioinsumo; *Glycine max.*; manejo da fertilização; PGPR; RPCP; *Sorghum bicolor* (L.) Moench; *Zea mays* L.

ABSTRACT

Brazil's dependence on imported mineral fertilizers necessitates the discovery of fertilization methods that reduce external fertilizer dependence and contribute to technologies that promote better utilization of nutrients absorbed by plants. This study evaluated the ability of rhizobacteria of the genera *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii*, and *Bacillus firmus* to improve phosphorus use efficiency in soybeans and nitrogen use efficiency in corn and sorghum when applied as a spray mixture in the planting row. In soybeans, phosphorus is a limiting nutrient, and its recovery is usually low due to immobilization in the soil. Two cultivars were tested under doses of 100%, 90%, and 80% of P₂O₅, with and without inoculants. The combination of 80% of the recommended phosphorus dose with *Bacillus* spp. outperformed all other treatments, providing higher EUP (Phosphorus use efficiency) and better conversion of kilograms of P applied to the soil into kilograms of grain. In corn and sorghum, crops that demand nitrogen and exhibit low recovery of applied mineral N, two cultivars were evaluated, one of corn and one of sorghum, under doses of 100%, 95%, and 90% nitrogen fertilizer, again with and without the same microorganisms. The 90% N dose associated with *Bacillus* spp. resulted in higher NUE (Nitrogen use efficiency) and greater efficiency in converting N into grains. In five experiments (three of soybeans, one of corn, and one of sorghum), the association of bacteria with reduced fertilizer doses proved to be technically effective, potentially generating economic savings by decreasing the need for chemical inputs, while also reducing the environmental impacts resulting from leaching and gas emissions associated with the excessive use of fertilizers. Thus, integrated nutrient management using microbial inoculants offers a viable, economical, and sustainable alternative for soybean, corn, and sorghum production in Brazil.

Keywords: *Bacillus*; biofertilization; bioinput; fertilization management; *Glycine max* L.; PGPR, RPCP; *Sorghum bicolor* (L.) Moench; *Zea mays* L.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	CAPÍTULO I - RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS (RPCP) NA EFICIÊNCIA DO USO DE FÓSFORO NA SOJA	14
2.1	INTRODUÇÃO	15
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	17
2.2.1	Experimento I – estufa	18
2.2.2	Experimentos II e III – testes de campo	19
2.3	RESULTADOS	23
2.3.1	Efeito do RPCP na eficiência do uso de fósforo durante o crescimento inicial da soja (experimento I – estufa)	23
2.3.2	Efeito do RPCP na eficiência do uso de fósforo em soja do ciclo tardio (experimento II - testes de campo) e precoce (experimento III - testes de campo)	25
2.4	DISCUSSÃO	30
2.4.1	Efeito do RPCP na eficiência do uso de fósforo durante o crescimento inicial da soja (experimento I - estufa)	30
2.4.2	Efeito do RPCP na eficiência do uso de fósforo em soja de ciclo tardio (experimento II - ensaios de campo) e precoce (experimento III - testes de campo)	31
2.5	CONCLUSÃO CAPÍTULO I	35
3	CAPÍTULO II - RIZOBACTÉRIAS PROMOTORAS DO CRESCIMENTO DE PLANTAS (RPCP) NA EFICIÊNCIA DO USO DE NITROGÊNIO EM MILHO E SORGO	36
3.1	INTRODUÇÃO	37
3.2	MATERIAL E MÉTODOS	39
3.3	RESULTADOS	44
3.3.1	Efeito do RPCP na eficiência do uso de nitrogênio em milho (experimento I - campo)	44
3.3.2	Efeito do RPCP na eficiência do uso de nitrogênio em sorgo (experimento II - campo)	47
3.4	DISCUSSÃO	49
3.5	CONCLUSÃO CAPÍTULO II	54
4	CONCLUSÃO GERAL	55
	REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO GERAL

Os investimentos na melhoria dos rendimentos e na melhoria da gestão agrícola impulsionarão o crescimento da produção agrícola global. Assumindo a transição contínua da agricultura, para sistemas de produção mais intensivos na próxima década, espera-se que 87% do crescimento projetado da produção agrícola global venha de melhorias de rendimento, 7% do aumento da intensidade de cultivo e apenas 6% da expansão das lavouras [1].

O manejo nutricional inadequado das lavouras, especialmente das adubações nitrogenadas e fosfatadas, pode resultar na redução da produtividade das culturas. Por conseguinte, serão reduzidos o número de colheitas em razão de que o N e o P inadequadamente utilizados podem ser imobilizados pelos microrganismos do solo, e, também na forma orgânica no sistema radicular, ou ainda adsorvidos nos colóides do solo. O fornecimento insuficiente ou inoportuno de fertilizante N e P aplicado às culturas pode resultar em crescimento deficiente e atualmente, com custos elevados de fertilizantes, a diminuição do uso de N e P, não ocorre com manejo adaptativo, mas sim, com a disponibilidade financeira do agricultor, resultando em uso insuficiente destes nutrientes essenciais para as culturas [2–4].

Dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA) informam que a produção nacional de fertilizantes do complexo NP em 2025 foi da ordem de 7,22 milhões de toneladas, e, as importações em 43,33 milhões de toneladas. O total de fertilizantes NPK entregues ao mercado atingiu 49.11 milhões de toneladas. Evidencia-se assim que nosso país tem grande dependência de importação de fertilizantes nitrogenados, e, que no equilíbrio mundial e regional de nitrogênio, a demanda é maior que a oferta de fertilizantes nitrogenados destinados à nossa região [5].

O manejo adaptativo de N e P usando boas práticas agronômicas e novas tecnologias como por exemplo o uso de biológicos pode otimizar a disponibilidade destes nutrientes. Combinar a oferta de N e P de acordo com as demandas das cultura é uma maneira importante de garantir o rendimento da cultura e reduzir a quantidade de fertilizantes aplicada. A necessidade de reduzir a dependência química de fertilizantes nitrogenados levou à pesquisa de fontes alternativas sustentáveis para a produção agrícola, sendo as rizobactérias promotoras do crescimento de plantas uma ferramenta valiosa de para a produção sustentável [6,7].

Os inoculantes microbianos são ferramentas do manejo integrado de nutrientes e podem ser usados como insumo econômico aumentando a produtividade das culturas; e diminuindo as doses de fertilizantes aplicados no solo. Os microrganismos do solo formam

complexas comunidades microbianas que regulam os ciclos de nutrientes e influenciam as características do solo, o crescimento das plantas e a sustentabilidade do ecossistema. [8–11].

Nesse sentido, o desenvolvimento sustentável da agricultura moderna se concentra na utilização de fertilizantes microbianos para melhorar a qualidade do solo e das culturas, evidenciando que a utilização de tecnologia moderna para aplicar produtos microbianos em larga escala, contribui para a qualidade agrônômica e incrementos de produtividade das lavouras [12]. A identificação de doses associadas a biológicos para aplicação racional de fertilizantes é de grande importância para reduzir a poluição de N e P e a dependência destes fertilizantes [13–15].

Neste trabalho, ensejando que a adoção de manejos biológicos reduza a dependência de fertilizantes químicos, avaliamos a eficácia do biofertilizante BioNitroPhós[®] composto por *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus firmus* na melhoria da eficiência de uso de nitrogênio e fósforo, com menores aportes minerais de N e P, nas culturas de milho, sorgo e soja, por meio de adubações de plantio e cobertura. Nesse sentido, realizamos três avanços nos estudos realizados: (i) análise do efeito de BioNitroPhós[®] com a redução das adubações nitrogenada e fosfatada na eficiência de uso de N e P, (ii) investigação da influência desses manejos nos teores foliares e em grãos de N e P, bem como nos componentes de produtividade e na produtividade final nas três culturas estudadas; e (iii) avaliação especificamente, do impacto da diminuição da adubação fosfatada na atividade fotoquímica nas cultivares de soja estudadas.

Compreender as respostas de que o uso do biofertilizante em combinação com a diminuição da oferta da adubação mineral aumenta a eficiência do uso de P em soja, e de N em milho e sorgo, mantendo ou aumentando a produtividade, com adequados custos e benefícios ambientais, apresenta grande relevância para a comunidade acadêmica, técnica, científica e socioambiental a nível nacional e global; e para agricultura regenerativa, a identificação de diminuição de doses para aplicação racional de fertilizantes associada a inoculantes biológicos é de grande importância para reduzir a poluição e a dependência destes fertilizantes.

¹ As referências bibliográficas utilizadas seguem normas de revistas

4 CONCLUSÃO GERAL

A aplicação conjunta de biofertilizantes contendo *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus firmus* mostrou-se eficaz na eficiência do uso de fósforo (EUP) na soja, quando associada ao menor aporte, aplicando 80 % da dose recomendada de P_2O_5 , evidenciando que reduzir em 20 % o aporte mineral e, ao mesmo tempo, aplicar biofertilizante eleva a EUP. A resposta ao biofertilizante não foi homogênea entre os cultivares; o efeito foi mais pronunciado na cultivar Destaque[®] do que em Lenda[®]. Além disso, a sinergia entre o fornecimento de fósforo e o biofertilizante influenciou parâmetros fotossintéticos, reforçando a ideia de que o desempenho da cultura depende de uma cooperação funcional entre a fertilização mineral e as rizobactérias promotoras do crescimento vegetal (RPCP).

Nos experimentos com milho Primaiz PZ2270 VT PRO 3[®] e sorgo Pioneer 50A70[®] a redução de 10 % no aporte mineral de nitrogênio, quando acompanhada do mesmo consórcio de *Bacillus megaterium*, *Bacillus haynesii* e *Bacillus firmus*, produz resultados equivalentes aos obtidos com a dose padrão em termos de atributos arquiteturais (altura, massa de grãos, produtividade) e nutricionais (nível foliar, teor de N, N-exp). Notou-se, entretanto, que no milho a eficiência do uso de nitrogênio (EUN), não é prejudicada, e que no sorgo aplicando 90 % da dose recomendada de N conjuntamente ao biofertilizante, o desempenho obtido pode sugerir que os microrganismos favoreceram a aquisição e a partição do N por meio de mecanismos rizosféricos, otimizando o uso do nutriente disponível.

Os achados deste trabalho, convergem para a conclusão de que a integração de biofertilizantes com menores aportes de fertilizantes minerais 80 % de P_2O_5 para a soja e 90 % da dose de N para milho e sorgo com o uso de BioNitroPhós[®] permite manter ou até elevar a eficiência de uso de fósforo e nitrogênio, ao mesmo tempo em que diminui a dependência de insumos minerais. Essa prática traz benefícios econômicos (menor custo com fertilizantes) e ambientais (redução da lixiviação e da demanda por fertilizantes fosfatados e nitrogenados), configurando uma estratégia agrônômica eficiente e sustentável que deve ser considerada no planejamento do manejo de nutrientes das principais lavouras do Cerrado brasileiro.

REFERÊNCIAS

1. OECD; Food and Agriculture Organization of the United Nations *OECD-FAO Agricultural Outlook 2025-2034*; OECD-FAO Agricultural Outlook; OECD Publishing, **2025**; ISBN 978-92-64-40615-5.
2. Bell, M.J.; Moody, P.; Salter, B.; Connellan, J.; Garside, A.L. Agronomy and Physiology of Nitrogen Use in Australian Sugarcane Crops. *A review of nitrogen use efficiency in sugarcane*. *Indooroopilly, Queensland: Sugar Research Australia Limited* **2015**, 89–124.
3. Vitti, A.C.; Trivelin, P.C.O.; Gava, G.J.C.; Penatti, C.P.; Bologna, I.R.; Faroni, C.E.; Franco, H.C.J. Produtividade Da Cana-de-Açúcar Relacionada Ao Nitrogênio Residual Da Adubação e Do Sistema Radicular. *Pesq. agropec. bras.* **2007**, *42*, 249–256, doi:10.1590/S0100-204X2007000200014.
4. Imoudu Oyeogbe, A. Nitrogen Management in Conservation Agriculture. In *Nitrogen in Agriculture - Physiological, Agricultural and Ecological Aspects [Working Title]*; IntechOpen, 2021.
5. Anda.Org.Br/Wp-Content/Uploads/2026/03/Principais_Indicadores_2025.Pdf.
6. Skocaj, D.M.; Everingham, Y.L.; Schroeder, B.L. Nitrogen Management Guidelines for Sugarcane Production in Australia: Can These Be Modified for Wet Tropical Conditions Using Seasonal Climate Forecasting? *Springer Science Reviews* **2013**, *1*, 51–71, doi:10.1007/s40362-013-0004-9.
7. Kaschuk, G.; Galli-Terasawa, L.V.; Albernas, K.K.; Ripka, L.D.P.; Pansolin, I.C.; Matos, C.D.L.; Pauletti, V.; Kava, V. Inoculation of Plant Growth Promoting Bacillus Spp. in N-Fertilized Maize Crop in Soils With High Organic Matter Content in South Brazil. *JAS* **2022**, *14*, 43, doi:10.5539/jas.v14n7p43.
8. Modi, K.; Patel, P. Isolation and Characterization of Plant Growth Promoting Rhizobacteria Associated with Saccharum Officinarum L. *Curr Synthetic Sys Biol* **2017**, *05*, doi:10.4172/2332-0737.1000132.
9. Aberathna, A.A.A.U.; Satharasinghe, D.A.; Jayasooriya, A.P.; Jinadasa, R.N.; Manopriya, S.; Jayaweera, B.P.A.; Fernando, C.A.N.; Weerathilake, W.A.D.V.; Prathapasinghe, G.A.; Liyanage, J.A.; et al. Increasing the Bioavailability of Phosphate by Using Microorganisms. *International Journal of Agronomy* **2022**, *2022*, 1–17, doi:10.1155/2022/4305501.
10. Department of Agricultural Microbiology, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore-03; Arthee, R.; Marimuthu, P.; Department of Agricultural Microbiology, Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore-03 Studies on Endophytic Burkholderia Sp. from Sugarcane and Its Screening for Plant Growth Promoting Potential. *JEBAS* **2017**, *5*, 242–257, doi:10.18006/2017.5(2).242.257.
11. Arthee, R.; Marimuthu, P. Isolation, Identification and Screening of Culturable Endophytic Bacterial Community in Sugarcane for Antimicrobial Activity on Major Fungal Pathogens. **2021**.
12. Wan, W.; Qin, Y.; Wu, H.; Zuo, W.; He, H.; Tan, J.; Wang, Y.; He, D. Isolation and Characterization of Phosphorus Solubilizing Bacteria With Multiple Phosphorus Sources Utilizing Capability and Their Potential for Lead Immobilization in Soil. *Front. Microbiol.* **2020**, *11*, 752, doi:10.3389/fmicb.2020.00752.

13. Martins, A.G.; Batista, A.H.; Wendling, B.; Pereira, M.G.; Santos, W.O. *Manejo Do Solo Em Sistemas Integrados de Produção*; 1st ed.; Atena Editora, **2022**; ISBN 978-65-258-0445-3.
14. Burni, T.; Hussain, F.; Bibi, S.; Ullah, R.; Lalay, G. The Salutary Impacts of AMF Species, Rock Phosphates (RP), and Organic Matter (FYM) Fertilizers on the Development and Chemical Behavior of *Mentha Arvensis* L. *Acta Ecologica Sinica* **2023**, *43*, 835–841, doi:10.1016/j.chnaes.2022.12.003.
15. ASPEE SHAKILAM Agri. Biotechnology, Institute, Navsari Agricultural University, Surat, Gujarat, India; Parmar, K. Isolation, Screening and Characterization of PGPR from Rhizosphere of Rice. *Int. J. Pure App. Biosci.* **2017**, *5*, 264–270, doi:10.18782/2320-7051.2887.
16. United States; Department of; Agriculture; United States Circular Series WAP 04-25 April 2025.
17. CONAB Fabiano Vasconcellos Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos. 2025.
18. Carvalho, N.S.; Rodrigues, E.B.D.S.; Santana, T.D.S.; Cantanhede, L.A.; Sousa, G.M.D.; Sousa, R.A.D.; Filho, F.M.D.S.; Silva-Matos, R.R.S.D. REVISÃO: A IMPORTÂNCIA DA SOJA PARA O AGRONEGÓCIO BRASILEIRO. In *Fitotecnia, sistemas agrícolas ambientais e solo*; Atena Editora, 2023; pp. 52–62 ISBN 978-65-258-1262-5.
19. Silva, J.G.D. *O Novo Rural Brasileiro*; Ie - Unicamp, 1999; ISBN 978-85-86215-21-6.
20. CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL OCDE-FAO PERSPECTIVAS AGRÍCOLAS 2022–2031 2022.
21. OECD; Food and Agriculture Organization of the United Nations *OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030*; OECD-FAO Agricultural Outlook; OECD, 2021; ISBN 978-92-64-43607-7.
22. Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.M.; Murphy, A. *Fundamentos de Fisiologia Vegetal-6*; Artmed Editora, 2021.
23. De Bang, T.C.; Husted, S.; Laursen, K.H.; Persson, D.P.; Schjoerring, J.K. The Molecular–Physiological Functions of Mineral Macronutrients and Their Consequences for Deficiency Symptoms in Plants. *New Phytologist* **2021**, *229*, 2446–2469, doi:10.1111/nph.17074.
24. Korndörfer, G.H.; Lara-Cabezas, W.A.; Horowitz, N. EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FOSFATOS NATURAIS REATIVOS NA CULTURA DO MILHO. *Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)* **1999**, *56*, 391–396, doi:10.1590/S0103-90161999000200019.
25. Yamada, T.; Stipp, S.R. *Fósforo Na Agricultura Brasileira*; Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2004.
26. Pavinato, P.S.; Cherubin, M.R.; Soltangheisi, A.; Rocha, G.C.; Chadwick, D.R.; Jones, D.L. Revealing Soil Legacy Phosphorus to Promote Sustainable Agriculture in Brazil. *Sci Rep* **2020**, *10*, 15615, doi:10.1038/s41598-020-72302-1.
27. Bertol, O.J.; Lana, M.D.C.; Fey, E.; Rizzi, N.E. Mobilidade de Íons Em Solo Sob Sistema de

Semeadura Direta Submetido Às Adubações Mineral e Orgânica¹. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* **2011**, 35, 1311–1321, doi:10.1590/S0100-06832011000400025.

28. Kochian, L.V.; Piñeros, M.A.; Liu, J.; Magalhaes, J.V. Plant Adaptation to Acid Soils: The Molecular Basis for Crop Aluminum Resistance. *Annu. Rev. Plant Biol.* **2015**, 66, 571–598, doi:10.1146/annurev-arplant-043014-114822.

29. Yasmeen, T.; Arif, M.S.; Shahzad, S.M.; Riaz, M.; Tufail, M.A.; Mubarik, M.S.; Ahmad, A.; Ali, S.; Albasher, G.; Shakoor, A. Abandoned Agriculture Soil Can Be Recultivated by Promoting Biological Phosphorus Fertility When Amended with Nano-Rock Phosphate and Suitable Bacterial Inoculant. *Ecotoxicology and Environmental Safety* **2022**, 234, 113385, doi:10.1016/j.ecoenv.2022.113385.

30. *World Phosphate Rock Reserves and Resources*; IFDC: Muscle Shoals, AL, 2010; ISBN 978-0-88090-167-3.

31. Secretaria Especial de Assuntos Estratégicos Plano Nacional de Fertilizantes 2050 (PNF 2050) 2021.

32. Santos, H.L.; Silva, G.F. da; Carnietto, M.R.A.; Oliveira, L.C.; Nogueira, C.H. de C.; Silva, M. de A. *Bacillus Velezensis* Associated with Organomineral Fertilizer and Reduced Phosphate Doses Improves Soil Microbial—Chemical Properties and Biomass of Sugarcane. *Agronomy* **2022**, 12, 2701, doi:10.3390/agronomy12112701.

33. Hernandez-Mora, A.; Duboc, O.; Lombi, E.; Bünemann, E.K.; Ylivainio, K.; Symanczik, S.; Delgado, A.; Abu Zahra, N.; Nikama, J.; Zuin, L.; et al. Fertilization Efficiency of Thirty Marketed and Experimental Recycled Phosphorus Fertilizers. *Journal of Cleaner Production* **2024**, 467, 142957, doi:10.1016/j.jclepro.2024.142957.

34. Reddy, D.D.; Rao, S.A.; Singh, M. Changes in P Fractions and Sorption in an Alfisol Following Crop Residues Application. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **2005**, 168, 241–247, doi:10.1002/jpln.200421444.

35. Rodríguez, H.; Fraga, R. Phosphate Solubilizing Bacteria and Their Role in Plant Growth Promotion. *Biotechnology Advances* **1999**, 17, 319–339, doi:10.1016/S0734-9750(99)00014-2.

36. Liu, F.; Qian, J.; Zhu, Y.; Wang, P.; Hu, J.; Lu, B.; He, Y.; Tang, S.; Shen, J.; Liu, Y.; et al. Phosphate Solubilizing Microorganisms Increase Soil Phosphorus Availability: A Review. *Geomicrobiology Journal* **2024**, 41, 1–16, doi:10.1080/01490451.2023.2272620.

37. Pan, L.; Cai, B. Phosphate-Solubilizing Bacteria: Advances in Their Physiology, Molecular Mechanisms and Microbial Community Effects. *Microorganisms* **2023**, 11, 2904, doi:10.3390/microorganisms11122904.

38. Silva, L.I. da; Pereira, M.C.; Carvalho, A.M.X. de; Buttrós, V.H.; Pasqual, M.; Dória, J. Phosphorus-Solubilizing Microorganisms: A Key to Sustainable Agriculture. *Agriculture* **2023**, 13, 462, doi:10.3390/agriculture13020462.

39. Chen, X.; Zhao, Y.; Huang, S.; Peñuelas, J.; Sardans, J.; Wang, L.; Zheng, B. Genome-Based

Identification of Phosphate-Solubilizing Capacities of Soil Bacterial Isolates. *AMB Expr* **2024**, *14*, 85, doi:10.1186/s13568-024-01745-w.

40. Pang, F.; Li, Q.; Solanki, M.K.; Wang, Z.; Xing, Y.-X.; Dong, D.-F. Soil Phosphorus Transformation and Plant Uptake Driven by Phosphate-Solubilizing Microorganisms. *Front. Microbiol.* **2024**, *15*, doi:10.3389/fmicb.2024.1383813.

41. Bakki, M.; Banane, B.; Marhane, O.; Esmaeel, Q.; Hatimi, A.; Barka, E.A.; Azim, K.; Bouizgarne, B. Phosphate Solubilizing *Pseudomonas* and *Bacillus* Combined with Rock Phosphates Promoting Tomato Growth and Reducing Bacterial Canker Disease. *Front. Microbiol.* **2024**, *15*, 1289466, doi:10.3389/fmicb.2024.1289466.

42. Diniz, P.F.D.A.; Silva, G.C.D.; Silva, N.A.D.; Souza, A.P.D. Doses de Fósforo e Fungos Micorrízicos Arbusculares Na Cultura Do Feijão-Caupi Na Paraíba. *Rev. Principia* **2024**, *61*, 608, doi:10.18265/1517-0306a2022id7126.

43. Safra de soja 2024/2025: plantar um hectare custa R\$ 5,9 mil em Mato Grosso do Sul Available online: <https://www.aprosojams.org.br/blog/safra-de-soja-20242025-plantar-um-hectare-custa-r-59-mil-em-mato-grosso-do-sul> (accessed on 12 May 2025).

44. Reetz, H.F. *Fertilizers and Their Efficient Use*; International Fertilizer industry Association, IFA: Paris, 2016; ISBN 979-10-92366-04-4.

45. Ghimirey, V.; Chaurasia, J.; Acharya, N.; Dhungana, R.; Chaurasiya, S. Biofertilizers: A Sustainable Strategy for Enhancing Physical, Chemical, and Biological Properties of Soil. *Innovations in Agriculture* **2024**, *7*, 1–11, doi:10.3897/ia.2024.128697.

46. Rao, N.S.S. Biofertilizers. *Interdisciplinary Science Reviews* **1982**, *7*, 220–229, doi:10.1179/isr.1982.7.3.220.

47. Vessey, J.K. Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biofertilizers. *Plant and Soil* **2003**, *255*, 571–586, doi:10.1023/A:1026037216893.

48. Florencio, C.; Bortoletto-Santos, R.; Favaro, C.; Brondi, M.; Velloso, C.; Klaic, R.; Ribeiro, C.; Farinas, C.; Mattoso, L. AVANÇOS NA PRODUÇÃO E FORMULAÇÃO DE INOCULANTES MICROBIANOS VISANDO UMA AGRICULTURA MAIS SUSTENTÁVEL. *Quím. Nova* **2022**, doi:10.21577/0100-4042.20170909.

49. Silva, A.L.P.D.; Lélis, A.D.T.; Sena, W.D.L.; Lima Junior, J.A.D. As Contribuições Dos Microrganismos Na Qualidade Do Solo Na Agricultura. *PRW* **2024**, *6*, 96–106, doi:10.53660/PRW-2036-3725.

50. Schoninger, E.L.; Gatiboni, L.C.; Ernani, P.R. Fertilização Com Fosfato Natural e Cinética de Absorção de Fósforo de Soja e Plantas de Cobertura Do Cerrado. *Sem. Ci. Agr.* **2013**, *34*, 95–106, doi:10.5433/1679-0359.2013v34n1p95.

51. Brunetto, G.; Lorensini, F.; Ceretta, C.A.; Gatiboni, L.C.; Trentin, G.; Girotto, E.; Miotto, A.; Lourenzi, C.R.; De Melo, G.W. Soil Phosphorus Fractions in a Sandy Typic Hapludalf as Affected by Phosphorus Fertilization and Grapevine Cultivation Period. *Communications in Soil Science and Plant*

Analysis **2013**, *44*, 1937–1950, doi:10.1080/00103624.2013.794819.

52. Zhang, X.; Zhang, L.; Liu, J.; Shen, Z.; Liu, Z.; Gu, H.; Hu, X.; Yu, Z.; Li, Y.; Jin, J.; et al. Biofertilizers Enhance Soil Fertility and Crop Yields Through Microbial Community Modulation. *Agronomy* **2025**, *15*, 1572, doi:10.3390/agronomy15071572.

53. Timofeeva, A.M.; Galyamova, M.R.; Sedykh, S.E. Plant Growth-Promoting Soil Bacteria: Nitrogen Fixation, Phosphate Solubilization, Siderophore Production, and Other Biological Activities. *Plants* **2023**, *12*, 4074, doi:10.3390/plants12244074.

54. PP DESTAQUE RR. *Sementes Pampeana*.

55. Lenda IPRO. *Sementes Pampeana*.

56. Iqbal, Z.; Ahmad, M.; Raza, M.A.; Hilger, T.; Rasche, F. Phosphate-Solubilizing *Bacillus* Sp. Modulate Soil Exoenzyme Activities and Improve Wheat Growth. *Microb Ecol* **2024**, *87*, 31, doi:10.1007/s00248-023-02340-5.

57. Zlotnikov, A.K.; Shapovalova, Y.N.; Makarov, A.A. Association of *Bacillus Firmus* E3 and *Klebsiella Terrigena* E6 with Increased Ability for Nitrogen Fixation. *Soil Biology and Biochemistry* **2001**, *33*, 1525–1530, doi:10.1016/S0038-0717(01)00070-0.

58. Huang, M.; Bulut, A.; Shrestha, B.; Matera, C.; Grundler, F.M.W.; Schleker, A.S.S. *Bacillus Firmus* I-1582 Promotes Plant Growth and Impairs Infection and Development of the Cyst Nematode *Heterodera Schachtii* over Two Generations. *Sci Rep* **2021**, *11*, 14114, doi:10.1038/s41598-021-93567-0.

59. Susič, N.; Žibrat, U.; Sinkovič, L.; Vončina, A.; Razinger, J.; Knapič, M.; Sedlar, A.; Širca, S.; Gerič Stare, B. From Genome to Field—Observation of the Multimodal Nematicidal and Plant Growth-Promoting Effects of *Bacillus Firmus* I-1582 on Tomatoes Using Hyperspectral Remote Sensing. *Plants* **2020**, *9*, 592, doi:10.3390/plants9050592.

60. Velineni, S.; Brahmaprakash, G.P. Survival and Phosphate Solubilizing Ability of *Bacillus Megaterium* in Liquid Inoculants under High Temperature and Desiccation Stress.

61. Abubakar, G.; Muhammad, L. Influence of *Bacillus Megaterium* and pH on the Solubility of Sokoto Rock Phosphate in Soil. *Bayero J. Pure App. Sci.* **2016**, *8*, 1, doi:10.4314/bajopas.v8i2.1.

62. World Reference Base for Soil Resources. 1: Introduction / J. A. Deckers ... (Eds.). In; Deckers, J.A., Ed.; Acco: Leuven, 1998 ISBN 978-90-334-4124-0.

63. *Soil Classification: A Global Desk Reference*; Eswaran, H., Ed.; CRC Press: Boca Raton, Fla, 2003; ISBN 978-0-8493-1339-4.

64. al, H.G. dos S. et *Brazilian soil classification system*; Embrapa, 2018; ISBN 978-85-7035-821-9.

65. *Sistema Brasileiro De Classificacao De Solos*; Embrapa Solos, 1999; ISBN 978-85-85864-04-0.

66. Raij, B.V. *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*; IPNI - Brasil, 2011; ISBN 978-85-98519-07-4.
67. Manejo e Conservação Do Solo e Da Água Em Sistema de Plantio Direto No Cerrado. - Portal Embrapa Available online: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/747825/manejo-e-conservacao-do-solo-e-da-agua-em-sistema-de-plantio-direto-no-cerrado> (accessed on 24 August 2025).
68. Plantio direto pode aumentar em 11% a eficiência do uso de água na cultura da soja Available online: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/73979857/plantio-direto-pode-aumentar-em-11-a-eficiencia-do-uso-de-agua-na-cultura-da-soja> (accessed on 24 August 2025).
69. Peel, M.C.; Finlayson, B.L.; McMahon, T.A. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* **2007**, *11*, 1633–1644, doi:10.5194/hess-11-1633-2007.
70. Sobrinho, O.P.L.; Santos, L.N.S. dos; Santos, G.O.; Cunha, F.N.; Soares, F.A.L.; Teixeira, M.B. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO MENSAL E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E THORNTHWAITE PARA O MUNICÍPIO DE RIO VERDE, GOIÁS. *Revista Brasileira de Climatologia* **2020**, *27*, 19–33, doi:10.5380/abclima. v27i0.68692.
71. Inmet: Mapa de Estações Available online: <https://mapas.inmet.gov.br/> (accessed on 20 November 2025).
72. Bouremani, N.; Cherif-Silini, H.; Silini, A.; Bouket, A.C.; Luptakova, L.; Alenezi, F.N.; Baranov, O.; Belbahri, L. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR): A Rampart against the Adverse Effects of Drought Stress. *Water* **2023**, *15*, 418, doi:10.3390/w15030418.
73. Oliveira-Paiva, C.A.; Marriel, I.E.; Gomes, E.A.; Mattos, B.B.; dos Santos, F.C.; Oliveira, M.C.; Alves, V.M.C. Metodologia de Aplicação de Microrganismos Solubilizadores de Fósforo Em Sementes Visando Melhor Aproveitamento Deste Nutriente Pelas Plantas. **2013**.
74. Krause, a G.; Weis, E. Chlorophyll Fluorescence and Photosynthesis: The Basics. *Annual review of plant biology* **1991**, *42*, 313–349.
75. Maxwell, K.; Johnson, G.N. Chlorophyll Fluorescence—a Practical Guide. *J Exp Bot* **2000**, *51*, 659–668, doi:10.1093/jexbot/51.345.659.
76. PSI FLUORPEN FP 100 OPERATION MANUAL Pdf Download Available online: <https://www.manualslib.com/manual/1312326/Psi-Fluorpen-Fp-100.html> (accessed on 27 August 2025).
77. Dąbrowski, P.; Kalaji, H.M.; Schansker, G.; Ladle, R.J.; Goltsev, V.; Bosa, K.; Allakhverdiev, S.I.; Brestic, M.; Bussotti, F.; Calatayud, A.; et al. Frequently Asked Questions about Chlorophyll Fluorescence: Practical Issues. *Photosynthesis Research* **2014**, *122*, doi:10.1007/s11120-014-0024-6.
78. FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA a: ASPECTOS GERAIS E PROTOCOLO DE MEDIDA PARA LI-6400/LI-6400XT Available online: https://www.researchgate.net/publication/330523473_FLUORESCENCIA_DA_CLOROFILA_a_ASPECTOS_GERAIS_E_PROTOCOLO_DE_MEDIDA_PARA_LI-6400LI-6400XT (accessed on 27 August 2025).

August 2025).

79. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo | Annual Reviews Available online: <https://www.annualreviews.org/content/journals/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092759> (accessed on 1 September 2025).

80. SILVA, F.C. da; FABIO CESAR DA SILVA, C. *Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.*; Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009., 2009; ISBN 978-85-7383-430-7.

81. Vaissie, P.; Monge, A.; Husson, F. Factoshiny: Perform Factorial Analysis from “FactoMineR” with a Shiny Application 2015, 2.7.

82. Sarma, A.K.; Deka, K. Plant Growth Promoting Rhizobacteria: An Option for Reducing Abiotic Stress in Plant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **2024**, *55*, 2267–2284, doi:10.1080/00103624.2024.2353745.

83. Al Raish, S.M.; Sourani, O.M.; Abu-Elsaoud, A.M. Plant Growth-Promoting Microorganisms as Biocontrol Agents: Mechanisms, Challenges, and Future Prospects. *Applied Microbiology* **2025**, *5*, 44, doi:10.3390/applmicrobiol5020044.

84. De Andrade, L.A.; Santos, C.H.B.; Frezarin, E.T.; Sales, L.R.; Rigobelo, E.C. Plant Growth-Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. *Microorganisms* **2023**, *11*, 1088, doi:10.3390/microorganisms11041088.

85. Kumar, A.; Singh, S.; Gaurav, A.K.; Srivastava, S.; Verma, J.P. Plant Growth-Promoting Bacteria: Biological Tools for the Mitigation of Salinity Stress in Plants. *Front. Microbiol.* **2020**, *11*, doi:10.3389/fmicb.2020.01216.

86. Oteino, N.; Lally, R.D.; Kiwanuka, S.; Lloyd, A.; Ryan, D.; Germaine, K.J.; Dowling, D.N. Plant Growth Promotion Induced by Phosphate Solubilizing Endophytic Pseudomonas Isolates. *Front. Microbiol.* **2015**, *6*, doi:10.3389/fmicb.2015.00745.

87. Jhansi, B.; Upadhyay, H.; Sahoo, S.; . R.; Saini, L. Effect of Different Levels of Phosphorus and Phosphorus Solubilizing Bacteria on the Growth and Yield of Soybean (Glycine Max L.). *ASD* **2023**, doi:10.18805/ag.D-5774.

88. Richardson, A.E. Soil Microorganisms and Phosphorus Availability. **1994**.

89. Kumar, U.; Raj, S.; Sreenikethanam, A.; Maddheshiya, R.; Kumari, S.; Han, S.; Kapoor, K.K.; Bhaskar, R.; Bajhaiya, A.K.; Gahlot, D.K. Multi-Omics Approaches in Plant–Microbe Interactions Hold Enormous Promise for Sustainable Agriculture. *Agronomy* **2023**, *13*, 1804, doi:10.3390/agronomy13071804.

90. Bello, S.K. An Overview of the Morphological, Genetic and Metabolic Mechanisms Regulating Phosphorus Efficiency Via Root Traits in Soybean. *J Soil Sci Plant Nutr* **2021**, *21*, 1013–1029, doi:10.1007/s42729-021-00418-y.

91. Cerqueira, W.F.; de Moraes, J.S.; Santana, J.; Mello, I.K.S. influencia de bacterias. *ENCICLOPÉDIA BIOSFERA* **2015**.
92. Vitorino, L.C.; da Silva, E.J.; Oliveira, M.S.; Silva, I. de O.; Santos, L. da S.; Mendonça, M.A.C.; Oliveira, T.C.S.; Bessa, L.A. Effect of a *Bacillus Velezensis* and *Lysinibacillus Fusiformis*-Based Biofertilizer on Phosphorus Acquisition and Grain Yield of Soybean. *Front. Plant Sci.* **2024**, *15*, doi:10.3389/fpls.2024.1433828.
93. Chen, L.; Qin, L.; Zhou, L.; Li, X.; Chen, Z.; Sun, L.; Wang, W.; Lin, Z.; Zhao, J.; Yamaji, N.; et al. A Nodule-localized Phosphate Transporter Gm PT 7 Plays an Important Role in Enhancing Symbiotic N₂ Fixation and Yield in Soybean. *New Phytologist* **2019**, *221*, 2013–2025, doi:10.1111/nph.15541.
94. Qin, L.; Zhao, J.; Tian, J.; Chen, L.; Sun, Z.; Guo, Y.; Lu, X.; Gu, M.; Xu, G.; Liao, H. The High-Affinity Phosphate Transporter GmPT5 Regulates Phosphate Transport to Nodules and Nodulation in Soybean. *Plant Physiology* **2012**, *159*, 1634–1643, doi:10.1104/pp.112.199786.
95. Guimarães, V.F.; Klein, J. Inoculante Líquido Contendo *Bacillus Megaterium* e *B. Subtilis* é Eficiente Em Promover Crescimento e Disponibilizar Fósforo Para a Soja. *REVISTA DELOS* **2023**, *16*, 2029–2060, doi:10.55905/rdelosv16.n46-006.
96. Luo, D.; Shi, J.; Li, M.; Chen, J.; Wang, T.; Zhang, Q.; Yang, L.; Zhu, N.; Wang, Y. Consortium of Phosphorus-Solubilizing Bacteria Promotes Maize Growth and Changes the Microbial Community Composition of Rhizosphere Soil. *Agronomy* **2024**, *14*, 1535, doi:10.3390/agronomy14071535.
97. Oliveira-Paiva, C.A.; Marriel, I.E.; Gomes, E.A.; Cota, L.V.; dos Santos, F.C.; de SOUSA, S.M.; LANA, U. de P.; Oliveira, M.C.; Mattos, B.B.; Alves, V.M.C. Recomendação Agronômica de Cepas de *Bacillus Subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus Megaterium* (CNPMS B119) Na Cultura Do Milho. **2020**.
98. dos Santos Antunes, E.F. Efeito Da Aplicação de Bioestimulantes No Desenvolvimento e Produção de Brocolini (*Brassica Oleracea* L. Var Italica X Alboglabra) Em Condições de Stress Salino. Master's Thesis, Universidade de Lisboa (Portugal), 2018.
99. Mahanta, D.; Rai, R.K.; Dhar, S.; Varghese, E.; Raja, A.; Purakayastha, T.J. Modification of Root Properties with Phosphate Solubilizing Bacteria and Arbuscular Mycorrhiza to Reduce Rock Phosphate Application in Soybean-Wheat Cropping System. *Ecological Engineering* **2018**, *111*, 31–43.
100. Govindan, K.; THIRUMURUGAN, V. Synergistic Association of *Rhizobium* with Phosphate-Solubilizing Bacteria under Different Sources of Nutrient Supply on Productivity and Soil Fertility in Soybean (*Glycine m u*). *Indian Journal of Agronomy* **2005**, *50*, 214–217, doi:10.59797/ija.v50i3.5109.
101. Caixeta, W.; Santin, G.B.; Rocha, G.A.; Souza, Á.H.C.D.; Tavares, C.J. Rendimento e viabilidade de soja em diferentes doses de fósforo associado a microrganismos solubilizadores de fósforo. *CLCS* **2024**, *17*, e13450, doi:10.55905/revconv.17n.13-127.
102. Oliveira-Paiva, C.A.; Cota, L.V.; Marriel, I.E.; Alves, V.M.C.; Gomes, E.A.; De Sousa, S.M.; dos SANTOS, F.C.; de SOUZA, F.F.; Landau, E.C.; Pinto Junior, A.S. Validação Da Recomendação

Para o Uso Do Inoculante BiomaPhos®(Bacillus Subtilis CNPMS B2084 e Bacillus Megaterium CNPMS B119) Na Cultura de Soja. **2021**.

103. Zhang, T.; Wang, X.; Zhou, J.; Zhou, W.; Zhou, S.-Q. Construction of Phosphate-Solubilizing Microbial Consortium and Its Effect on the Remediation of Saline-Alkali Soil. *Microb Ecol* **2025**, *88*, 11, doi:10.1007/s00248-024-02485-x.

104. Produção de Milho Em Grão No Brasil | IBGE Available online: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/milho-em-grao/br> (accessed on 19 January 2026).

105. Produção de Sorgo No Brasil | IBGE Available online: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/sorgo/br> (accessed on 19 January 2026).

106. Garcia, G.; Cardoso, A.A.; Santos, O.A.M.D. Da Escassez Ao Estresse Do Planeta: Um Século de Mudanças No Ciclo Do Nitrogênio. *Quím. Nova* **2013**, *36*, 1468–1476, doi:10.1590/S0100-40422013000900032.

107. Galindo, F.S.; Pagliari, P.H.; Da Silva, E.C.; De Lima, B.H.; Fernandes, G.C.; Thiengo, C.C.; Bernardes, J.V.S.; Jalal, A.; Oliveira, C.E.S.; De Sousa Vilela, L.; et al. Impact of Nitrogen Fertilizer Sustainability on Corn Crop Yield: The Role of Beneficial Microbial Inoculation Interactions. *BMC Plant Biol* **2024**, *24*, 268, doi:10.1186/s12870-024-04971-3.

108. Morinigo, P.; Ruiz Diaz, D.A. Assessing the Impact of the 4R Nutrient Management on Nitrogen Use Efficiency in Corn. *Kansas Agricultural Experiment Station Research Reports* **2023**, *9*, doi:10.4148/2378-5977.8544.

109. Qin, F.; Su, H.; Sun, L.; Li, Y. Research Progress Related to Sorghum Biological Nitrification Inhibitors. *Agronomy* **2024**, *14*, 1576, doi:10.3390/agronomy14071576.

110. Kafle, J.; Bhandari, L.; Neupane, S.; Aryal, S. A Review on Impact of Different Nitrogen Management Techniques on Maize (*Zea Mays* L.) Crop Performance. *AgroEnviron. Sustain.* **2023**, *1*, 192–198, doi:10.59983/s20230102012.

111. Asibi, A.E.; Chai, Q.; A. Coulter, J. Mechanisms of Nitrogen Use in Maize. *Agronomy* **2019**, *9*, 775, doi:10.3390/agronomy9120775.

112. Davies, B.; Coulter, J.A.; Pagliari, P.H. Timing and Rate of Nitrogen Fertilization Influence Maize Yield and Nitrogen Use Efficiency. *PLoS ONE* **2020**, *15*, e0233674, doi:10.1371/journal.pone.0233674.

113. Kitchen, N.R.; Ransom, C.J.; Schepers, J.S.; Hatfield, J.L.; Massey, R.; Drummond, S.T. A New Perspective When Examining Maize Fertilizer Nitrogen Use Efficiency, Incrementally. *PLoS ONE* **2022**, *17*, e0267215, doi:10.1371/journal.pone.0267215.

114. Zhigang Wang; Bao-Luo Ma; Yajian Li; Rongfa Li; Qi Jia; Xiaofang Yu; Jiying Sun; Shuping Hu; Julin Gao Concurrent Improvement in Maize Grain Yield and Nitrogen Use Efficiency by Enhancing Inherent Soil Productivity. *Front. Plant Sci.* **2022**, *13*, 790188, doi:10.3389/fpls.2022.790188.

115. Fukami, J.; Cerezini, P.; Hungria, M. Azospirillum: Benefits That Go Far beyond Biological Nitrogen Fixation. *AMB Expr* **2018**, *8*, 73, doi:10.1186/s13568-018-0608-1.
116. Cassán, F.; Coniglio, A.; López, G.; Molina, R.; Nievas, S.; De Carlan, C.L.N.; Donadio, F.; Torres, D.; Rosas, S.; Pedrosa, F.O.; et al. Everything You Must Know about Azospirillum and Its Impact on Agriculture and Beyond. *Biol Fertil Soils* **2020**, *56*, 461–479, doi:10.1007/s00374-020-01463-y.
117. Irineu, L.E.S.D.S.; Soares, C.D.P.; Soares, T.S.; Almeida, F.A.D.; Almeida-Silva, F.; Gazara, R.K.; Meneses, C.H.S.G.; Canellas, L.P.; Silveira, V.; Venancio, T.M.; et al. Multiomic Approaches Reveal Hormonal Modulation and Nitrogen Uptake and Assimilation in the Initial Growth of Maize Inoculated with Herbaspirillum Seropedicae. *Plants* **2022**, *12*, 48, doi:10.3390/plants12010048.
118. Pankievicz, V.C.S.; Do Amaral, F.P.; Santos, K.F.D.N.; Agtuca, B.; Xu, Y.; Schueller, M.J.; Arisi, A.C.M.; Steffens, Maria.B.R.; De Souza, E.M.; Pedrosa, F.O.; et al. Robust Biological Nitrogen Fixation in a Model Grass–Bacterial Association. *The Plant Journal* **2015**, *81*, 907–919, doi:10.1111/tpj.12777.
119. Franche, C.; Lindström, K.; Elmerich, C. Nitrogen-Fixing Bacteria Associated with Leguminous and Non-Leguminous Plants. *Plant Soil* **2009**, *321*, 35–59, doi:10.1007/s11104-008-9833-8.
120. Jiang, S.; Li, J.; Wang, Q.; Yin, C.; Zhan, Y.; Yan, Y.; Lin, M.; Ke, X. Maize Growth Promotion by Inoculation with an Engineered Ammonium-Excreting Strain of Nitrogen-Fixing *Pseudomonasstutzeri*. *Microorganisms* **2022**, *10*, 1986, doi:10.3390/microorganisms10101986.
121. Kifle, M.H.; Laing, M.D. Isolation and Screening of Bacteria for Their Diazotrophic Potential and Their Influence on Growth Promotion of Maize Seedlings in Greenhouses. *Front. Plant Sci.* **2016**, *6*, doi:10.3389/fpls.2015.01225.
122. Dobereiner, J.; Baldani, V.L.D.; Baldani, J.I. *Como isolar e identificar bacterias diazotroficas de plantas nao-leguminosas*; EMBRAPA-SPI: Brasilia, 1996; ISBN 978-85-85007-65-2.
123. Xie, G.; Su, B.; Cui, Z. [Isolation and identification of N₂-fixing strains of *Bacillus* in rice rhizosphere of the Yangtze River Valley]. *Wei Sheng Wu Xue Bao* **1998**, *38*, 480–483.
124. Qin, F.; Su, H.; Sun, L.; Li, Y. Research Progress Related to Sorghum Biological Nitrification Inhibitors. *Agronomy* **2024**, *14*, 1576, doi:10.3390/agronomy14071576.
125. Saud, S.; Wang, D.; Fahad, S. Improved Nitrogen Use Efficiency and Greenhouse Gas Emissions in Agricultural Soils as Producers of Biological Nitrification Inhibitors. *Front. Plant Sci.* **2022**, *13*, 854195, doi:10.3389/fpls.2022.854195.
126. Ghimirey, V.; Chaurasia, J.; Acharya, N.; Dhungana, R.; Chaurasiya, S. Biofertilizers: A Sustainable Strategy for Enhancing Physical, Chemical, and Biological Properties of Soil. *Innovations in Agriculture* **2024**, *7*, 1–11, doi:10.3897/ia.2024.128697.
127. Bini, D.; Ribeiro, V.P.; Marins, M.S.; Silva, F.C.; Rodrigues, V.A.; Santos, B.R.; Gomes, E.A.;

Dos Santos, F.C.; De Paula Lana, U.G.; Coelho, A.M.; et al. *Bacillus Thuringiensis* CNPMS B116, a Brazilian Strain from Cerrado, as a Bioinoculant for Improving Maize Yield and Phosphorus Use Efficiency. *Arch Microbiol* **2026**, *208*, 14, doi:10.1007/s00203-025-04564-0.

128. Chuong, N.V.; Vu, T.M.; Tuan, L.M.; Son, N.T.T.; Tri, T.L.K.; Thuan, N.V.; Dang, P.T.H.; Liem, T.T.; Trang, N.N.P. Enhanced Soil Fertility and Baby Maize Yield Through *Bacillus Megaterium* CM2 under Reduced Nitrogen Input. *Communications in Science and Technology* **2025**, *10*, 411–421, doi:10.21924/cst.10.2.2025.1832.

129. Schumacher, L.L.; Viégas, J.; Tonin, T.J.; Pereira, S.N.; Skonieski, F.R.; Cardoso, G.D.S.; Hora, A.L.V.C.D.; Teixeira, J.V.; Temp, L.B.; Nemoto, B.D.S. Efeito Da Inoculação de Sementes Com *Azospirillum* Brasilense Sobre o Fracionamento Nitrogenado e Glicídico Em Silagens de Sorgo. *RSD* **2021**, *10*, e16710212321, doi:10.33448/rsd-v10i2.12321.

130. Alaarage, S.S. NITROGEN AND BIOFERTILIZATION EFFECTS ON BIOCHEMICAL, QUALITATIVE, AND PHYSIOLOGICAL TRAITS OF SORGHUM (*SORGHUM BICOLOR* L.). *SABRAOJBG* **2023**, *55*, 1392–1400, doi:10.54910/sabrao2023.55.4.32.

131. Gonçalves, L.B.; Santos, C.H.B.; Gonilha, D.B.D.L.; Frezarin, E.T.; Da Costa, M.T.P.; Rigobelo, E.C. Microbial Inoculants and Fertilizer Reduction in Sorghum Cultivation: Implications for Sustainable Agriculture. *Microbiology Research* **2025**, *16*, 115, doi:10.3390/microbiolres16060115.

132. Veríssimo, J.P. [UNESP Estratégias de inoculação de *Azospirillum* brasilense e redução no nitrogênio aplicado em cobertura: impactos na produtividade e na rentabilidade do sorgo granífero. **2025**.

133. Fernando P.; Lara G. Eficiência Agronômica Do Bionitrophos Na Produtividade de Matéria Fresca Do Capim *Brachiaria Brizantha* Cv. Marandu 2022.