

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO –
CAMPUS RIO VERDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS- AGRONOMIA

**MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL PARA
REDUÇÃO DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA EM SOJA E MILHO**

Mestrando: Jeronimo Pereira dos Santos
Junior

Orientador: Dr. Edson Luiz Souchie

Coorientador: Dr. Moacir Ribeiro Neto

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia no Programa de Pós- Graduação em Ciências Agrárias - Agronomia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, Área de concentração: Produção Vegetal Sustentável no Cerrado.

RIO VERDE, GO
Setembro, 2025

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema Integrado de Bibliotecas – SIBI/IF Goiano - Campus Rio Verde

SANTOS JUNIOR, Jeronymo Pereira
Micro-organismos promotores do crescimento vegetal para redução da
fertilização fosfatada em soja e milho

Dissertação (Mestrado) – Instituto Federal Goiano – Campus Rio
Verde, 2025.

Orientador: Dr. Edson Luiz Souchie.

Bibliografia

1. Bactérias solubilizadoras. 2. Fosfato. 3. *Zea mays* L. 4.
Glycinemax.

I. Título. II. Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo:

Nome completo do autor:

Matrícula:

Título do trabalho:

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIIF Goiano: / /

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais incluídos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

/ /

Local

Data

gov.br

Documento assinado digitalmente

JERONYMO PEREIRA DOS SANTOS JUNIOR

Data: 11/03/2026 17:59:08-0300

verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura

Assinatura

Ciente e de acordo:

gov.br

Documento assinado digitalmente

EDSON LUIZ SOUCHE

Data: 12/03/2026 22:16:29-0300

verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO

Documentos 57/2025 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL PARA REDUÇÃO DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA EM SOJA E MILHO

Autor: Jeronymo Pereira dos Santos Junior

Orientador: Dr. Edson Luiz Souchie

TITULAÇÃO: Mestre em Ciências Agrárias - Agronomia, Área de Concentração
em Produção Vegetal Sustentável no Cerrado

APROVADA em 05 de setembro de 2025.

Prof. Dr. Edson Luiz Souchie (Presidente)

Prof. Dr. Leandro Carlos (Avaliador interno)

Dr. Moacir Ribeiro Neto (Avaliador externo)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Edson Luiz Souchie, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/09/2025 08:52:14.
- **Moacir Ribeiro Neto, 2022202344060004 - Discente**, em 22/09/2025 09:20:41.
- **Leandro Carlos, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 22/09/2025 09:23:39.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/08/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 734019
Código de Autenticação: f0a51e531e



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Rio Verde
Rodovia Sul Goiana, Km 01, Zona Rural, 01, Zona Rural, RIO VERDE / GO, CEP 75901-970
(64) 3624-1000

Tudo o que é excelente é tão difícil quanto raro. Por isso, não ridicularizar, não lamentar, não desprezar, mas compreender.”

Baruch Spinoza

"Enquanto a agricultura convencional busca produzir mais com maiores insumos, o futuro pertence aos que produzem mais com menos. O consórcio T4 é a semente desse futuro."
Jeronymo P. Santos Júnior (2025).

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que, por mais difíceis que tenham sido os últimos anos, sempre esteve ao meu lado, guiando e sustentando. Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional, às minhas filhas e netas, pelo simples fato de existirem e enriquecerem minha vida e minha esposa, pela sua resiliência, paciência e compaixão.

Sou profundamente grato ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, por abrir suas portas e permitir meu regresso ao Mestrado, após mais de 20 anos. Agradeço também ao Centro de Excelência em Bioinsumos (CEBIO/FAPEG), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Chamada CNPq/CT-Mineral/CT-Energ N° 27/2022), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo apoio financeiro e estrutura que viabilizou este projeto.

Agradeço imensamente ao meu orientador, Dr. Edson Luiz Souchie, pela paciência, dedicação e excelência na orientação. Aos meus coorientadores, Dr. Moacir Ribeiro Neto, que com toda sua vasta experiência foi capaz de orientar-me e auxiliar nos momentos mais difíceis e Dr. Matheus Vinícius Abadia Ventura, que trouxe consigo a genialidade de parte do tema e do desenvolvimento dos trabalhos aqui elaborados.

Por fim, agradeço a todos os colegas que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a execução desta dissertação.

BIOGRAFIA DO AUTOR

Jeronymo Pereira dos Santos Júnior, nasceu em 6 de maio de 1978, na cidade de Rio Verde, Goiás. Filho de Jeronymo Pereira dos Santos e Maria de Lourdes Moraes Santos, sendo o quarto de cinco filhos e único homem. Cresceu em Rio Verde, onde estudou em escolas públicas. Casou-se aos 18 anos, em 1996, e constituiu família com Neila Aparecida de Silva Santos, sendo pai de duas filhas e avô de duas netas. Em 2003, foi aprovado no vestibular do primeiro curso superior (Tecnologia em Produção de Grãos) do Centro Federal de Educação Tecnológica (CEFET-Rio Verde), atualmente I.F. Goiano - Campus Rio Verde, concluindo-o em 2005. Após quase 20 anos afastado do ambiente acadêmico, retornou aos estudos, em 2023, ingressando no Mestrado em Ciências Agrárias – Agronomia do IF Goiano-Campus Rio Verde. Conclui o Mestrado em 2025, reafirmando seu compromisso com o conhecimento e com a constante busca pelo crescimento pessoal e profissional.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	15
SOJA SOB DOSES DE FONTES FOSFATADAS E MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL	15
RESUMO	16
ABSTRACT	17
INTRODUÇÃO	18
OBJETIVO.....	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
CONCLUSÃO.....	28
REFERÊNCIAS	29
CAPÍTULO II.....	31
MILHO SOB DOSES DE FONTES FOSFATADAS E MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL	31
RESUMO	32
ABSTRACT	33
INTRODUÇÃO	34
OBJETIVO.....	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	35
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	38
CONCLUSÃO.....	43
6. REFERÊNCIAS.....	44

Lista de Abreviaturas e Siglas

Sigla/Abreviatura	Significado Completo
ANOVA	Análise de Variância
ATP	Adenosina Trifosfato
FBN	Fixação Biológica de Nitrogênio
IF Goiano	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora (ABNT)
P	Fósforo
P ₂ O ₅	Pentóxido de Fósforo
PGPR	Plant Growth-Promoting Rhizobacteria
PSM	P-solubilizing microorganisms
UFC/MI	Unidades Formadoras de Colônias

RESUMO

SANTOS JUNIOR, J. P. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, setembro de 2025. **MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL PARA REDUÇÃO DA FERTILIZAÇÃO FOSFATADA EM SOJA E MILHO.** Orientador: Dr. Edson Luiz Souchie. Coorientador: Moacir Ribeiro Neto.

Com o avanço das fronteiras agrícolas e a migração de produtores rurais para o Cerrado, o Brasil começou a ter recordes de produção a cada ano agrícola, principalmente com a cultura da soja e milho. No entanto, para que isso ocorresse foi necessário muita pesquisa e desenvolvimento de tecnologias, especialmente, na área de manejo da fertilidade dos solos agrícolas. Com este trabalho, objetivou-se avaliar a eficiência de diferentes consórcios microbianos sob níveis de adubação fosfatada nas culturas da soja e milho, cultivadas no Cerrado. Dois ensaios em nível de campo (soja e milho) foram conduzidos na safra de verão 2023/24, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO. Ambos os ensaios foram em delineamento de blocos ao acaso, esquema fatorial 3 x 5 (três níveis de fertilização fosfatada: 0, 50 e 100% da dosagem recomendada de P e cinco tratamentos de inoculação: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum* + *Pseudomonas*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *Priestiamegaterium* + *Bacillus subtilis*), com quatro repetições. Aos 35 dias após a emergência, em ambos os ensaios, foram avaliadas: massa seca da parte aérea, de raízes, teores de N e P na parte aérea e de raízes. Para soja, também foi avaliado o número e massa seca de nódulos. Na colheita, em ambos os ensaios, foram analisados: massa de 1000 grãos, teores de N e P nos grãos e produtividade de grãos. A eficácia agrônômica da coinoculação foi comprovada como uma estratégia superior, ou seja, a combinação de *Priestiamegaterium* e *Bacillus subtilis*, ou *Bacillus* e *Paraburkholderia* sp., ou ainda *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* é mais favorável à nutrição, o crescimento e a produtividade de soja que a inoculação isolada. As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *P. megaterium* + *B. subtilis*) favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais. Os isolados microbianos, promotores do crescimento aqui testados, atuam de maneira sinérgica e maximizam a eficiência da adubação fosfatada na cultura da soja. Na cultura do milho, similarmente, a coinoculação de *Priestiamegaterium*+*Bacillus subtilis*, ou

Bacillus sp. + *Paraburkholderia* sp., ou ainda *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* potencializa a produtividade de milho, comparada à inoculação isolada de *A. brasilense* ou *P. fluorescens*. As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *P. megaterium* + *B. subtilis*), favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais.

Palavras-chave: rizosfera; solubilização de P; sinergismo microbiano; coinoculação.

ABSTRACT

SANTOS JUNIOR, J. P. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Campus Rio Verde, setembro de 2025. **PLANT-GROWTH PROMOTING MICROORGANISMS TO REDUCE PHOSPHATE FERTILIZATION IN SOYBEAN AND CORN.** Advisor: Dr. Edson Luiz Souche. Co-advisor: Moacir Ribeiro Neto.

With the expansion of agricultural frontiers and the migration of rural producers to the Cerrado, Brazil starts to break production records every agricultural year, mainly with soybean and corn crops. However, for this to happen, a great deal of research and technological development was necessary, especially in agricultural soil fertility management. The objective of this study was to evaluate the efficiency of different microbial consortia under different levels of phosphate fertilization in soybean and corn crops grown in the Cerrado. Two field trials (soybean and corn) were carried out in the 2023/24 summer harvest at the IF Goiano Experimental Area – Rio Verde Campus, GO. Both trials were randomized block designs, 3 x 5 factorial scheme (three levels of phosphate fertilization: 0, 50, and 100% of the recommended P dosage and five inoculation treatments: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum* + *Pseudomonas*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. and *Priestia megaterium* + *Bacillus subtilis*), with four replicates. Thirty-five days after emergence, in both trials, the following were evaluated: dry mass of the aerial part, roots, N and P contents in the aerial part and roots. For soybeans, the number and dry mass of nodules were also evaluated. At harvest, in both trials, the following were analyzed: mass of 1000 grains, N and P contents in the grains, and grain yield. The agronomic effectiveness of co-inoculation was proven to be a superior strategy, i.e., the combination of *Priestia megaterium* and *Bacillus subtilis*, or *Bacillus* and *Paraburkholderia* sp., or *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* is more favorable to soybean nutrition, growth, and productivity than isolated inoculation. Co-inoculation technologies (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., and *P. megaterium* + *B. subtilis*) favor low-input systems as well as those aimed at optimizing the efficiency of conventional industrial phosphate fertilizers. The microbial isolates tested here as growth promoters acted synergistically and maximized the efficiency of phosphate fertilization in soybean crops. In corn cultivation, similarly, the co-inoculation of *Priestia megaterium* + *Bacillus subtilis*, or *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., or even *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens* enhanced corn productivity compared to the isolated inoculation of *A. brasilense* or *P. fluorescens*. Co-

inoculation technologies (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., and *P. megaterium* + *B. subtilis*) favored low-input systems as well as those aimed at optimizing the efficiency of conventional industrial phosphate fertilizers.

Keywords: rhizosphere; P solubilization; microbial synergy; coinoculation.

CAPÍTULO I

SOJA SOB DOSES DE FONTES FOSFATADAS E MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL

RESUMO

A soja é a cultura agrícola mais cultivada no Brasil, exercendo papel estratégico para a economia nacional e para a consolidação do país como um dos maiores produtores e exportadores de grãos do mundo. No entanto, é crescente a necessidade de implementação de estratégias para redução da dependência de pesadas adubações fosfatadas. Um ensaio de campo, com a cultura da soja, foi conduzido na safra de verão 2023/24, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, esquema fatorial 3 x 5 (três níveis de fertilização fosfatada: 0, 50 e 100% da dosagem recomendada de P e cinco tratamentos de inoculação: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *Priestiamegaterium* + *Bacillus subtilis*), com quatro repetições. Aos 35 dias após a emergência, foram avaliadas: massa seca da parte aérea, de raízes, número e massa seca de nódulos, teores de N e P na parte aérea e de raízes. Na colheita, em ambos os ensaios, foram analisados: massa de 1000 grãos, teores de N e P nos grãos e produtividade de grãos. A eficácia agrônômica da coinoculação foi comprovada como uma estratégia superior, ou seja, a combinação de *Priestiamegaterium* e *Bacillus subtilis*, ou *Bacillus* e *Paraburkholderiasp.*, ou ainda *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* é mais favorável à nutrição, o crescimento e a produtividade de soja que a inoculação isolada. As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis*) favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais. Os isolados microbianos, promotores do crescimento aqui testados, atuam de maneira sinérgica e maximizam a eficiência da adubação fosfatada na cultura da soja.

Palavras-chave: coinoculação; consórcio microbiano; promoção do crescimento de plantas; rizosfera.

ABSTRACT

Soybeans are the most widely grown agricultural crop in Brazil, playing a strategic role in the national economy and in consolidating the country's position as one of the world's largest grain producers and exporters. However, there is a growing need to implement strategies to reduce the dependence of heavy phosphate fertilizers. A field trial with soybeans was carried out during the 2023/24 summer harvest at the IF Goiano Experimental Area – Rio Verde Campus, GO. The design used was randomized blocks, 3 x 5 factorial scheme (three levels of phosphate fertilization: 0, 50, and 100% of the recommended P dosage and five inoculation treatments: *Azospirillumbrasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillumbrasilense* + *Pseudomonas*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. and *Priestia megaterium* + *Bacillus subtilis*), with four replicates. Thirty-five days after emergence, the following were evaluated: dry mass of the aerial part, roots, number and dry mass of nodules, N and P contents in the aerial part and roots. At harvest, in both trials, the following were analyzed: 1000-grain weight, N and P content in the grains, and grain yield. The agronomic effectiveness of co-inoculation was proven to be a superior strategy, i.e., the combination of *Priestia megaterium* and *Bacillus subtilis*, or *Bacillus* and *Paraburkholderia* sp., or *Azospirillumbrasilense* and *Pseudomonas fluorescens* is more favorable to soybean nutrition, growth, and yield than isolated inoculation. Co-inoculation technologies (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., and *P. megaterium* + *B. subtilis*) favor low-input systems as well as those aimed at optimizing the efficiency of conventional industrial phosphate fertilizers. The microbial isolates tested here as growth promoters act synergistically and maximized the efficiency of phosphate fertilization in soybean crops.

Keywords: coinoculation; microbial consortium; plant-growth promotion; rhizosphere.

INTRODUÇÃO

O solo, um recurso tridimensional, dinâmico e não renovável em escalas de tempo humano, é fundamental para a produção agrícola, fornecendo suporte físico, água e nutrientes. No entanto, a fertilidade dos solos tropicais, como os do Cerrado brasileiro, é frequentemente limitada por características como alta acidez, baixa saturação de bases e elevada capacidade de adsorção de fósforo (P) (EMBRAPA, 2004). A soja, cultura de maior expressão no Brasil, consolida o país como um dos maiores produtores e exportadores de grãos, expansão viabilizada por investimentos em pesquisa, correção de solo e manejo adaptado a condições edafoclimáticas (Colussi *et al.*, 2016). Apesar dos avanços tecnológicos, a baixa disponibilidade de P permanece um dos principais desafios para a sustentabilidade dos sistemas produtivos no Cerrado (Echeverri, 2018; Balmant *et al.*, 2019a,b).

O P é um macronutriente essencial, envolvido em processos vitais como fotossíntese, respiração e transferência de energia. Em solos tropicais, sua disponibilidade é limitada pela fixação a óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, que retêm o nutriente em formas quimicamente indisponíveis (Barbosa *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2021). Consequentemente, mesmo aplicações frequentes de fertilizantes fosfatados não garantem maior disponibilidade de P lábil, elevando custos e riscos ambientais. Nesse contexto, a busca por práticas sustentáveis tem incentivado o uso de micro-organismos solubilizadores de fosfatos (MSF). Estes promovem a conversão de formas insolúveis de P em formas assimiláveis, através da produção de ácidos orgânicos e enzimas, reduzindo a dependência de fertilizantes químicos (Sharma *et al.*, 2013; Kalayu, 2019). Muitos desses micro-organismos também atuam como promotores de crescimento vegetal (PGPR), estimulando o desenvolvimento radicular e a absorção de nutrientes.

A cultura da soja, principal produto do agronegócio brasileiro, alcançou alta produtividade mediante melhoramento genético, inoculação para fixação biológica de nitrogênio e manejo adequado do solo. Contudo, a dependência de fertilizantes minerais fosfatados e os impactos ambientais impulsionam a adoção de tecnologias integradas que conciliem eficiência agrônômica e sustentabilidade. A utilização de MSF surge como solução promissora para maximizar a eficiência do uso de P e reduzir a aplicação de insumos químicos. Estudos indicam que práticas como agricultura de precisão, fertilização localizada e uso de fontes orgânicas podem melhorar a distribuição espacial de P no solo e a eficiência de absorção (Souza *et al.*, 2015; Menezes *et al.*, 2018; Amado *et al.*, 2019). A resposta das culturas ao P depende ainda do modo de aplicação, da textura do solo e da interação com

micro-organismos da rizosfera (Calegari *et al.*, 2010; Batistella Filho *et al.*, 2013).

Estes micro-organismos atuam positivamente no crescimento e desenvolvimento das plantas por diversos mecanismos (GLICK, 2012;). Entre os gêneros mais estudados estão *Pseudomonas* e *Bacillus*, que possuem a capacidade de solubilização de fosfatos, um processo que converte o P fixado ou indisponível em formas assimiláveis (SAXENA *et al.*, 2019). Tal solubilização ocorre primariamente pela produção de ácidos orgânicos e enzimas, como as fosfatases ácidas, aumentando a disponibilidade de P no solo (BINI & LOPEZ, 2016) Adicionalmente, bactérias fixadoras de N, como *Azospirillum brasilense*, são conhecidas por estimular o desenvolvimento radicular pela produção de fitormônios, como o ácido indolacético (AIA) (VIANA *et al.*, 2020). A coinoculação, combinando, por exemplo, *Pseudomonas fluorescens* e *Bradyrhizobium japonicum* na soja, tem demonstrado elevada eficiência agrônômica (GUIMARÃES *et al.*, 2021) e estudos prévios evidenciam que o uso de inoculantes pode compensar a redução da adubação fosfatada, mantendo ou elevando os patamares de produtividade em comparação à dose completa de fertilizante (CHAVES *et al.*, 2013).

OBJETIVO

Avaliar a eficiência de consórcios microbianos promotores do crescimento de plantas, sob níveis de adubação fosfatada, na cultura da soja cultivada em Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Um ensaio de campo com a cultura da soja foi conduzido na safra de verão de 2023/24, na Área Experimental do IF Goiano - Campus Rio Verde, GO (Tabelas 1 a 4). As condições climáticas da região são típicas do Cerrado brasileiro, caracterizadas pela precipitação média anual entre 1.500 e 1.800 mm, concentrada entre outubro e março. As temperaturas médias variam de 22 a 28°C, podendo atingir máximas de 35°C no verão, e a umidade relativa do ar situa-se entre 60 e 80% durante a estação chuvosa.

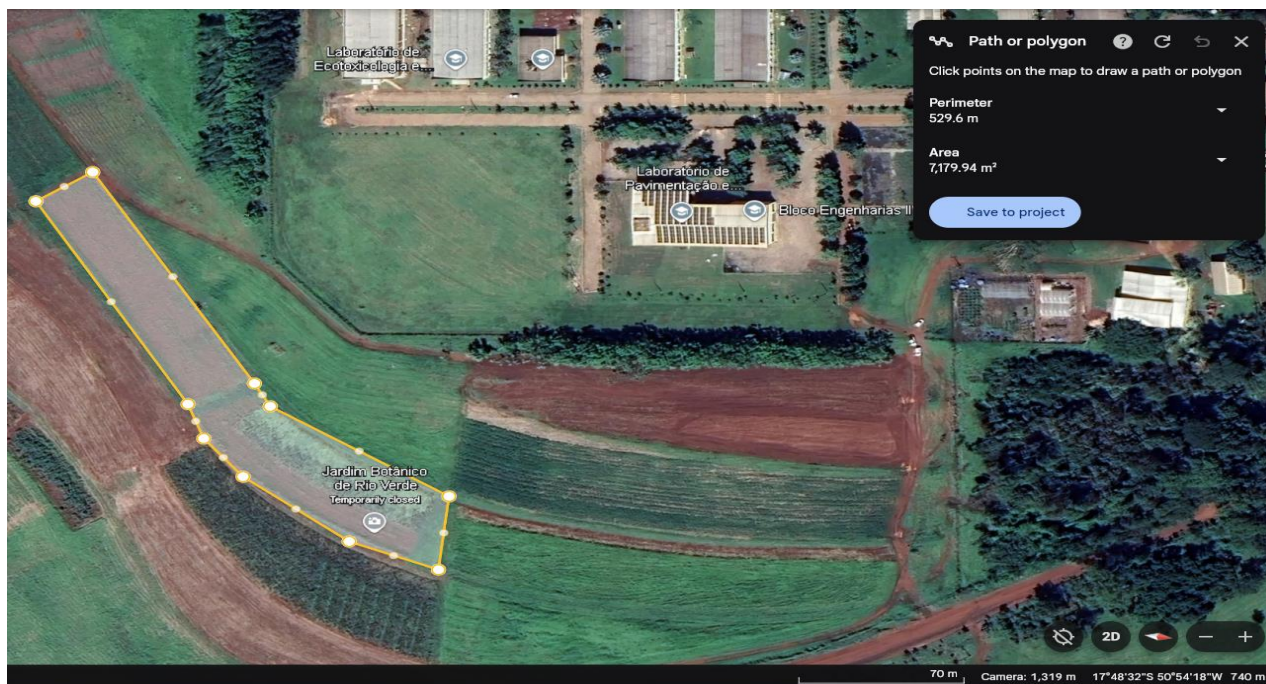


Figura 1 -Localização do ensaio de campo com soja, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

O ensaio foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso, esquema fatorial 3 x 5 (três níveis de fertilização fosfatada: 0, 50 e 100% da dosagem recomendada de P e cinco tratamentos de inoculação: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum* + *Pseudomonas*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *Priestiamegaterium* + *Bacillus subtilis*), com três repetições.

As populações de *Bradyrhizobium* sp. e de *Azospirillum* sp. nativos no solo foram avaliadas 7 dias antes do plantio, sendo estimadas pelo método de contagem em placas de Petri, de acordo com a IN nº 30 do MAPA (MAPA, 2010) (Tabela 2).

Tabela 2. Características do local de condução do ensaio com a cultura da soja, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Local de instalação	Local (coordenadas geográficas)	Altitude (m)	Precipitação (mm) durante o período	<i>Bradyrhizobium</i> sp. (UFC g solo ⁻¹)	<i>Azospirillum</i> sp. (UFC g solo ⁻¹)
IF Goiano - Campus Rio Verde	Latitude: 17° 32' 35" S, Longitude 51° 02' 42" O	744	613	3,9 x 10 ³	4,1 x 10 ³

As características químicas do solo, bem como demais informações sobre a condução do ensaio constam nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Características químicas e granulométricas do solo do ensaio com a cultura da soja, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

pH (CaCl ₂)	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	M.O.	V	Areia	Silte	Argila
	--mg dm ⁻³ --				-----cmol _c dm ⁻³ -----			g dm ⁻³		-----%-----		
5,3	4,8	86	4,4	1,3	0,03	1,6	7,6	41,1	55,6	39	16	45

Extratores: Mehlich 1 (P e K); KCl (Ca, Mg e Al); H+Al: acidez total do solo (solução tampão SMP a pH 7,5); CTC: capacidade de troca de cátions; M.O. (matéria orgânica: método colorimétrico); V (saturação por bases no solo)

Tabela 4. Detalhamento das informações do local de condução do ensaio com a cultura da soja, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Data do plantio	Cultivar	Fertilização (padrão*)	Densidade (plantas/ha)	Espaçamento	Cultura antecessora	Tratamento de sementes	Data da colheita
03/12/2023	Olimpo	400 kg ha ⁻¹ (00:30:10)	260.000	0,50	Milho	Imidacloprido + Tiodicarbe [®] (2 mL/kg sementes ⁻¹)	13/03/2024

*Adubação de aplicada 7 dias após o plantio (DAP), a lanço e inoculação com *B. japonicum* (2 mL/kg de semente), aos 7 DAP, via barra.

Em relação aos níveis de adubação fosfatada, o tratamento de referência (100%) correspondeu à dose para atingir 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, enquanto os demais níveis consistiram em 50 e 0% dessa dose.

Cada parcela foi constituída por seis linhas de plantio, espaçadas de acordo com as recomendações técnicas da cultura. A inoculação das sementes foi realizada com os isolados microbianos oriundos da coleção do Laboratório de Microbiologia Agrícola do IF Goiano - Campus Rio Verde. Antes da aplicação, os isolados foram multiplicados em meio apropriado e tiveram a concentração padronizada para 8 x 10⁹ UFC mL⁻¹.

O manejo fitossanitário do ensaio seguiu um protocolo padronizado, com uma aplicação do herbicida Roundup Transorb[®] (N-fosfonometilglicina, equivalente ácido de 480 g L⁻¹) na dose de 2,5 L ha⁻¹, assim como com Fomesafen (250 g L⁻¹ - 1,0 L ha⁻¹), nos estádios V2 a V4 para o controle de plantas daninhas. Para o controle de pragas, foram realizadas aplicações de tiametoxam + lambda-cialotrina (250 mL ha⁻¹) durante a fase vegetativa, complementadas por espinetoram (60 mL ha⁻¹) ou por produtos biológicos à base de *Bacillus thuringiensis*, conforme o nível de infestação. Já no controle de doenças, priorizou-se o manejo da ferrugem asiática, da mancha-alvo e da septoriose, sendo duas aplicações principais: a primeira com trifloxistrobina + protioconazol (300 mL ha⁻¹) no estágio R1 e a

segunda com azoxistrobina + ciproconazol (300 mL ha⁻¹) no estágio R3.

Aos 35 dias após a emergência (DAE), foram avaliadas: massa seca da parte aérea e de raízes, número e massa seca de nódulos, assim como teores de N e P em parte aérea e raízes. Para cada parâmetro, foram coletadas cinco plantas da área útil, correspondentes à segunda linha de cada parcela. Na colheita, os parâmetros avaliados incluíram: massa de mil grãos, teores de N e P nos grãos e produtividade de grãos. A colheita foi realizada em 8 m lineares das linhas centrais de cada parcela, visando minimizar bordaduras (FAGOTTI, 2023). Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott (5%), utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando-se a massa seca de nódulos de soja, aos 35 DAE, foi observada que a coinoculação com *A. brasilense* + *P. fluorescens* incrementou tal variável, nas doses de 0 e 50% de P, comparado aos demais tratamentos de inoculação (Tabela 5). Ademais, as maiores médias, iguais entre si, foram obtidas com tal tratamento de inoculação nas doses de 0 e 50% de P (Tabela 5).

Quanto à massa seca de parte aérea de soja, as maiores médias foram observadas sob coinoculação de *A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis* combinado com 100% da recomendação de P (Tabela 6).

Na maioria das características fitotécnicas analisadas, a coinoculação com *A. brasilense* + *P. fluorescens* proporcionou maiores incrementos (Tabelas 5, 6, 7, 8, 9 11 e 12). Os resultados obtidos neste estudo indicam que os micro-organismos apresentam potencial expressivo para substituir parcialmente os fertilizantes fosfatados na cultura da soja, contribuindo para a construção de sistemas agrícolas mais eficientes.

Tabela 5. Massa seca de nódulo em soja, aos 35 dias após a emergência, cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Massa seca de nódulos (g planta ⁻¹)				
0% de P	0,090 Ba	0,024 Ba	0,259 Aa	0,070 Ba	0,101 Ba
50% de P	0,090 Ca	0,029 Ca	0,259 Aa	0,171 Ba	0,051 Ca
100% de P	0,109 Aa	0,090 Aa	0,042 Ab	0,120 Aa	0,043 Aa
CV (%)	42,6				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Tabela 6. Massa seca de parte aérea em soja, aos 35 dias após a emergência, cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense + P. fluorescens</i>	<i>Bacillus sp. + Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium + B. subtilis</i>
	Massa seca de parte aérea (g planta ⁻¹)				
0% de P	0,18 Aa	0,17 Aa	0,19 Aa	0,21 Aa	0,18 Aa
50% de P	0,20 Aa	0,20 Aa	0,21 Aa	0,18 Aa	0,17 Aa
100% de P	0,13 Ba	0,09 Bb	0,23 Aa	0,18 Aa	0,19 Aa
CV (%)	27,1				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Avaliando-se o teor de N da parte aérea, na dose de 0% de P, a coinoculação com *P. megaterium + B. subtilis* proporcionou as maiores médias (Tabela 7), enquanto nas doses de 50 e 100% P, as maiores médias foram obtidas sob coinoculação de *A. brasilense + P. fluorescens* (Tabela 7). Similarmente, quanto ao teor de P da parte aérea, aos 35 DAE, com 100% da recomendação de P, os três tratamentos de coinoculação proporcionaram médias superiores comparados aos dois tratamentos de inoculação (Tabela 8). Tal resultado confirma que a coinoculação é uma tecnologia mais eficiente e estratégica que a inoculação isolada de promotores do crescimento vegetal. E, considerando os desafios dos cenários geopolíticos e geoeconômicos da atualidade, a redução da recomendação de fertilizantes fosfatados, mantendo os patamares produtivos, torna-se algo estratégico e altamente necessário.

Tabela 7. Teor de N da parte aérea de soja, aos 35 dias após a emergência, cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense + P. fluorescens</i>	<i>Bacillus sp. + Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium + B. subtilis</i>
	Teor de N de parte aérea (mg kg ⁻¹)				
0% de P	4,55Bc	4,00 Dc	4,57 Bc	4,23 Cc	4,79 Ac
50% de P	5,64 Ba	5,34 Ca	5,76 Ab	4,50 Ea	5,22 Da
100% de P	5,14 Bb	4,51 Db	5,93 Aa	4,41 Eb	4,94 Cb
CV (%)	1,0				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Tabela 8. Teor de P da parte aérea de soja, aos 35 dias após a emergência, cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense + P. fluorescens</i>	<i>Bacillus sp. + Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium + B. subtilis</i>
	Teor de N de parte aérea (mg kg ⁻¹)				
0% de P	0,18 Aa	0,20 Aa	0,19 Aa	0,21 Aa	0,18 Aa
50% de P	0,20 Aa	0,17 Aa	0,21 Aa	0,18 Aa	0,17 Aa
100% de P	0,13 Ba	0,09 Bb	0,23 Aa	0,18 Aa	0,19 Aa
CV (%)	27,0				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Quanto ao teor de N nas raízes, aos 35 DAE, as maiores médias foram obtidas sob inoculação de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* combinado com 0 e 50% de P (Tabela 9).

Tabela 9. Teor de N em raízes de soja, aos 35 dias após a emergência, cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de N em raízes (mg kg ⁻¹)				
0% de P	2,09 Ab	2,17 Aa	1,60 Cc	1,60 Cc	1,99 Ba
50% de P	2,06 Ab	2,07 Ab	1,73 Db	1,84 Cb	1,95 Ba
100% de P	2,16 Ca	2,24 Ba	2,34 Aa	2,12 Ca	1,43 Db
CV (%)	2,6				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Quanto ao teor de N em grãos de soja, em 0% de P, a inoculação com *A. brasilense* + *P. fluorescens* proporcionou maiores médias, enquanto com 50% P, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* foi o tratamento de inoculação com destaque (Tabela 10).

Tabela 10. Teor de N em grãos de soja cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de N em grãos (mg kg ⁻¹)				
0% de P	7,38 Ec	8,10 Dc	11,5 Aa	8,22 Cb	8,68 Ba
50% de P	8,14 Cb	8,43 Bb	8,08 Cc	10,7 Aa	8,07 Cb
100% de P	10,6 Ba	10,8 Aa	8,18 Cb	8,00 Dc	7,77 Ec
CV (%)	0,56				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Avaliando-se o teor de P em grãos, aos 35 DAE, na dose de 0% P, os tratamentos de inoculação com *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens* *A. brasilense* + *P. fluorescens* foram os que proporcionaram maiores médias, iguais entre si (Tabela 11).

Tabela 11. Teor de P em grãos de soja cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de N em grãos (mg kg ⁻¹)				
0% de P	0,46 Aa	0,46 Aa	0,41 Aa	0,14 Bb	0,15 Bb
50% de P	0,49 Aa	0,44 Aa	0,43 Aa	0,50 Aa	0,14 Bb
100% de P	0,49 Aa	0,47 Aa	0,45 Aa	0,16 Bb	0,46 Aa
CV (%)	13,2				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

As maiores médias de peso de mil grãos foram atingidas com os tratamentos de coinoculação com *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis* (Tabela 12). Igualmente, avaliando-se a produtividade de grãos, as maiores médias foram obtidas com ambos os tratamentos supracitados, comparados aos tratamentos de inoculação isolada (Tabela 13).

Tabela 12. Peso de mil grãos em soja cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)	
Peso de mil grãos (g planta ⁻¹)	
<i>Azospirillum brasilense</i>	166,8 b
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	168,8 b
<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	170,6 b
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	176,6 a
<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>	177,4 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Tabela 13. Produtividade de grãos de soja cultivada com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)	
Peso de mil grãos (g planta ⁻¹)	
<i>Azospirillum brasilense</i>	3.744 b
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	3.789 b
<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	3.829 b
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	3.964 a
<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>	3.981 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

O fato dos tratamentos de coinoculação, para a maioria das características fitotécnicas analisadas, possibilitarem médias superiores às inoculações com espécies isoladas, reforça a importância desta tecnologia de inoculação para potencializar os múltiplos mecanismos fisiológicos, benéficos à cultura da soja, tais como fixação biológica de nitrogênio, solubilização de fosfatos e a produção de fitormônios. Os tratamentos de coinoculação (*Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis*) proporcionaram produtividade de grãos, em média, 744 kg ha⁻¹ a mais (Tabela 13) que a média brasileira (3.229 kg ha⁻¹), na safra 2023/24 (CONAB, 2024).

Silva *et al.* (2019), relatam que a coinoculação de *A. brasilense* e *B. japonicum* amenizam os efeitos adversos ocasionados pelo estresse hídrico no desenvolvimento da cultura da soja. Segundo Barbosa *et al.* (2023), a coinoculação supracitada incrementou o número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos, refletindo acréscimos na produtividade de grãos. Similarmente, com a referida coinoculação, foram

reportados aumentos no número e volume de nódulos grandes em soja (Bais *et al.*, 2023) e no teor de P nas folhas (Fachinelli, 2018). Também, Rondina *et al.* (2020) relatam que a coinoculação de *Bradyrhizobium* e *A. brasilense* e a aplicação de exsudatos de *A. brasilense* nas sementes aumentaram o número de ramos e nódulos radiculares de soja, comparado à inoculação isolada de *Bradyrhizobium*. Ademais, a referida coinoculação melhorou diversas características morfológicas das raízes, aumentando a capacidade da planta de superar episódios moderados de estresse hídrico em solos arenosos, permitindo alcançar maiores produtividades.

De acordo com Prando *et al.* (2024), a contribuição global da fixação biológica de nitrogênio para a produção de soja, coloca o Brasil como país líder e, quanto à coinoculação com *Bradyrhizobium* sp. e *Azospirillum brasilense*, os benefícios são comprovados pelo incremento da nodulação e produtividade de grãos. Neste contexto, Barbosa *et al.* (2021), relatam que tal coinoculação é uma prática crescente no Brasil, porém sabe-se pouco sobre as condições que maximizam a eficiência nas culturas agrícolas.

Nascente *et al.* (2016), relatam que *Pseudomonas fluorescens* atua como um promotor do crescimento vegetal e aumenta o conteúdo de clorofila, a taxa de fotossíntese, a absorção de nutrientes e a produção de biomassa. Neste contexto, Guimarães *et al.* (2021) relatam que a coinoculação de *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens* em sementes de soja favoreceu a produtividade de grãos e possibilitou redução, em 50%, da recomendação de adubação fosfatada. Similarmente, Faria (2021), relata que *Pseudomonas fluorescens* pode ser associada a *B. japonicum*, via sementes ou foliar, e resulta em aumento dos parâmetros agronômicos.

A interação entre a adubação fosfatada e os inoculantes microbianos revelou padrões distintos, conforme o nível de adubação: em condições de 0% de adubação, a contribuição dos micro-organismos foi essencial para suprir a carência de P, garantindo produtividade competitiva; com 50% da adubação recomendada, observou-se equilíbrio entre o fertilizante químico e os inoculantes, resultando em ganhos de eficiência fisiológica; em sistemas com 100% de adubação, os micro-organismos atuaram de forma complementar, proporcionando incremento adicional de produtividade, mesmo em condições de alta disponibilidade nutricional.

De maneira geral, os resultados obtidos demonstram que os inoculantes microbianos promoveram efeitos positivos mesmo em condições de baixa disponibilidade de P, reforçando a viabilidade do uso de consórcios microbianos como alternativa parcial à adubação fosfatada convencional.

Os resultados indicam que, mesmo sem adubação fosfatada, a associação microbiana foi eficaz em estimular o acúmulo de biomassa e a assimilação de nutrientes, sugerindo forte potencial para aplicações em sistemas de agricultura de baixo input.

Do ponto de vista econômico e ambiental, a adoção de bioinsumos à base de microorganismos pode representar uma estratégia promissora para a redução dos custos de produção e para a mitigação dos impactos negativos associados à extração e aplicação excessiva de fertilizantes industrializados convencionais. Tal abordagem está em consonância com as exigências contemporâneas por práticas agrícolas mais sustentáveis, como a agricultura regenerativa e os sistemas agroecológicos, oferecendo uma alternativa viável para a transição rumo a modelos produtivos mais resilientes e menos dependentes de insumos externos. Recomenda-se, como perspectiva futura, a realização de ensaios em condições de campo, abrangendo diferentes regiões e condições edafoclimáticas, a fim de validar os resultados obtidos neste estudo. Além disso, é importante investigar a viabilidade técnica e econômica da adoção dos consórcios microbianos em larga escala, considerando a integração aos programas de manejo nutricional como uma inovação que pode aliar produtividade e sustentabilidade.

CONCLUSÃO

A eficácia agronômica da coinoculação foi comprovada como uma estratégia superior, ou seja, a combinação de *Priestiamegaterium* e *Bacillus subtilis*, ou *Bacillus* e *Paraburkholderiasp.*, ou ainda *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* é mais favorável à nutrição, o crescimento e a produtividade de soja que a inoculação isolada.

As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis*) favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais.

Os isolados microbianos, promotores do crescimento aqui testados, atuam de maneira sinérgica e maximizam a eficiência da adubação fosfatada na cultura da soja.

REFERÊNCIAS

- BAIS, J.; KANDEL, H.; DESUTTER, T.; DECKARD, E.; KEENE, C. Soybean response to N fertilization compared with co-inoculation of *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*. *Agronomy*, v. 13, p. 1-14, 2023.
- BALMANT, A. G. S. et al. Disponibilidade de fósforo em Latossolo do cerrado sob manejo convencional por mais de duas décadas. In: CONGRESSO UFV–EMBRAPA, 2019a. *Anais[...]*.
- BALMANT, G. R. et al. Adsorção de fósforo em solos tropicais: influência da mineralogia e do manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 43, 2019b.
- BARBOSA, N. C. et al. Efeito do método de aplicação de fertilizantes fosfatados sobre a dinâmica do fósforo no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, p. 1234-1241, 2015.
- BARBOSA, J. Z.; HUNGRIA, M.; SENA, J. V. S.; POGGERE, G.; REIS, A. R.; CORRÊA, R. S. Meta-analysis reveals benefits of co-inoculation of soybean with *Azospirillum brasilense* and *Bradyrhizobium* spp. in Brazil. *Applied Soil Ecology*, v. 163, p.103913, 2021.
- BARBOSA, H. M.; ALVAREZ, R. C. F.; LIMA, S. F.; CORDEIRO, M. A. S.; ZANELLA, M. S.; BERNARDO, V. F. *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* co-inoculation associated with cobalt and molybdenum application in the soybean crop. *Ciência Rural*, v. 53, p. 1-10, 2023.
- BATISTELLA FILHO, F. et al. Adubação com fósforo e potássio para produção e qualidade de sementes de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 48, p. 783-790, 2013.
- CALEGARI, J. P. et al. Produtividade e componentes de produção da soja adubada com diferentes doses de fósforo, potássio e zinco. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 34, p. 660-666, 2010.
- COLUSSI, J. et al. O agronegócio da soja: uma análise da rentabilidade do cultivo da soja no Brasil. *Revista Espacios*, v. 37, n. 16, 2016.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos. Safra 2023/24. 8º Levantamento, maio de 2024.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.
- FACHINELLI, R. Influência da inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum* na cultura da soja. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Grande Dourados. 2018, 57 p.
- FARIA, T. C. Resposta da cultura da soja à coinoculação com *Bradyrhizobium japonicum* e *Pseudomonas fluorescens*. Tese de Doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia. IF Goiano – Campus Rio Verde, 2021. 62 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

GUIMARÃES, T. C. et al. Eficiência agrônômica da coinoculação de *Pseudomonas fluorescens* e *Bradyrhizobium japonicum* na cultura da soja. *Agriculture*, v. 11, p. 103-112, 2021.

KALAYU, G. Phosphatesolubilizingmicroorganisms: promising approach as biofertilizers. *AgricultureandBiologyJournalof North America*, v. 10, p. 1-7, 2019.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa nº 30, de 12 de novembro de 2010.

NASCENTE, A.S.; FILIPPI, M.C.C.; LANNA, A.C.; SOUZA, A.C.A.; LOBO, V.L.S.; SILVA, G.B. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. *Environmental Science and Pollution Research*, v. 24, p. 2956-2965, 2016.

OLIVEIRA, L. B.; TIECHER, T.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R. Soil phosphorus availability and uptake by mycorrhizal and non-mycorrhizal plants in an onion no-tillage system. *Ciência Rural*, v. 51, n. 10, e20200740, 2021.

PRANDO, A. M.; BARBOSA, J. Z.; OLIVEIRA, A. B.; NOGUEIRA, M. A.; POSSAMAI, E. J.; HUNGRIA, M. Benefits of soybean co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillumbrasilense*: large-scale validation with farmers in Brazil. *European Journal of Agronomy*, v. 155, p. 127112, 2024.

RONDINA, A. B. L.; SANZOVO, A. W. S.; GUIMARÃES, G. S.; WENDLING, J. R.; NOGUEIRA, M. A.; HUNGRIA, M. Changes in root morphological traits in soybean co-inoculated with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillumbrasilense* or treated with *A. brasilense* exudates. *Biology and Fertility of Soils*, v. 56, p. 537-549, 2020.

SHARMA, S. B.; SAYYED, R. Z.; TRIVEDI, M. H.; GOBI, T. A. Phosphate solubilizing microbes: sustainable approach for managing phosphorus deficiency in agricultural soils. *SpringerPlus*, v. 2, art. 587, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/2193-1801-2-587>. Acesso em: 23de fevereiro de 2026.

SILVA, E. R.; ZOZ, J.; OLIVEIRA, C. E. S.; ZUFFO, A. M.; STEINER, F.; ZOZ, T.; VENDRUSCOLO, E. P. Can co-inoculation of *Bradyrhizobium* and *Azospirillum* alleviate adverse effects of drought stress on soybean (*Glycine max* L. Merrill.)? *ArchivesofMicrobiology*, v. 201, p. 325-335, 2019.

CAPÍTULO II

MILHO SOB DOSES DE FONTES FOSFATADAS E MICRO-ORGANISMOS PROMOTORES DO CRESCIMENTO VEGETAL

RESUMO

No cenário mundial, o Brasil situa-se em terceiro lugar no ranking de produção de milho, o que contribui consideravelmente para o avanço do agronegócio do Brasil. No entanto, é crescente a necessidade de implementação de estratégias para redução da dependência de pesadas adubações fosfatadas. Um ensaio de campo, com a cultura da soja, foi conduzido na safra de verão 2023/24, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO. O delineamento utilizado foi o de blocos ao acaso, esquema fatorial 3 x 5 (três níveis de fertilização fosfatada: 0, 50 e 100% da dosagem recomendada de P e cinco tratamentos de inoculação: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum brasilense* + *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *Priestiamegaterium* + *Bacillus subtilis*), com quatro repetições. Aos 35 dias após a emergência, foram avaliadas: massa seca da parte aérea, de raízes, número e massa seca de nódulos, teores de N e P na parte aérea e de raízes. Na colheita, em ambos os ensaios, foram analisados: massa de 1000 grãos, teores de N e P nos grãos e produtividade de grãos. A coinoculação de *Priestiamegaterium*+*Bacillus subtilis*, ou *Bacillus* sp.+*Paraburkholderia* sp., ou ainda *Azospirillum brasilense*+*Pseudomonas fluorescens* potencializa a produtividade de milho, comparada à inoculação isolada de *A. brasilense* ou *P. fluorescens*. As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *P. megaterium* + *B. subtilis*), favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais.

Palavras-chave: coinoculação; consórcio microbiano; promoção do crescimento de plantas; rizosfera.

ABSTRACT

On the world stage, Brazil ranks third in corn production, which contributes significantly to the advancement of Brazilian agribusiness. However, there is a growing need to implement strategies to reduce dependence on heavy phosphate fertilizers. A field trial with soybeans was carried out during the 2023/24 summer harvest at the IF Goiano Experimental Area – Rio Verde Campus, GO. The design used was randomized blocks, 3 x 5 factorial scheme (three levels of phosphate fertilization: 0, 50, and 100% of the recommended P dosage and five inoculation treatments: *Azospirillumbrasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillumbrasilense* + *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. and *Priestia megaterium*+ *Bacillus subtilis*), with four replicates. Thirty-five days after emergence, the following were evaluated: dry mass of the aerial part, roots, number and dry mass of nodules, N and P contents in the aerial part and roots. At harvest, in both trials, the following were analyzed: mass of 1000 grains, N and P contents in the grains, and grain yield. Co-inoculation of *Priestia megaterium* + *Bacillus subtilis*, or *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., or *Azospirillumbrasilense* + *Pseudomonas fluorescens* enhanced corn yield compared to isolated inoculation of *A. brasilense* or *P. fluorescens*. Co-inoculation technologies (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp., and *P. megaterium* + *B. subtilis*) favored low-input systems as well as those aimed at optimizing the efficiency of conventional industrial phosphate fertilizers.

Keywords:co-inoculation; microbial consortium; plant-growthpromotion; rhizosphere.

INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L. Merrill) é uma cultura agrícola de alta relevância no agronegócio brasileiro, que se destaca pela versatilidade de uso – em pecuária, indústria e biocombustíveis – e por seu papel na diversificação de sistemas produtivos. No entanto, enfrenta o desafio da baixa disponibilidade de fósforo (P) em solos tropicais, tornando a otimização de seu manejo nutricional, inclusive via bioinsumos, essencial para incrementar a qualidade do agrossistema. O milho também ocupa posição estratégica na matriz produtiva brasileira, dada a versatilidade, curto ciclo de cultivo e importância econômica para a pecuária e indústria de alimentos, biocombustíveis assim como na diversificação de sistemas produtivos, seja em monocultivo, em rotação de culturas ou em consórcio.

O melhoramento genético, aliado a práticas modernas de manejo e ao uso de tecnologias como inoculação e bioestimulantes, tem garantido ganhos consistentes em produtividade e qualidade nutricional (JAREMTCHUK *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2022). No entanto, a produção intensiva dessa cultura ainda depende fortemente do uso de insumos químicos, como fertilizantes minerais fosfatados e nitrogenados, representando um desafio para a sustentabilidade dos agrossistemas. Diante do aumento da demanda por alimentos, fibras e bioenergia, torna-se cada vez mais necessário adotar tecnologias e práticas que conciliem produtividade com conservação dos recursos naturais. Desta forma, o uso de micro-organismos promotores do crescimento de plantas, tais como bactérias diazotróficas e micro-organismos solubilizadores de fosfatos, surge como alternativa plenamente racional e estratégica, visando reduzir custos com adubação e maximizar a sustentabilidade dos agrossistemas.

A compreensão das interações entre plantas e micro-organismos é um fator chave para avançar e maximizar a eficiência da biotecnologia microbiana (KHOSHRU *et al.*, 2020; CHOUHAN *et al.*, 2021; POSADA *et al.*, 2021). De acordo com Sandini *et al.* (2019), uma estratégia para potencializar os efeitos de grupos microbianos é a coinoculação, combinando-os com distintos mecanismos de promoção do crescimento. Por exemplo, Sandini *et al.* (2024), relatam que a utilização do consórcio de *Azospirillum brasilense* e *Pseudomonas fluorescens* promove economia de até 25% da adubação de N em cobertura e a possibilidade de usar ambas as bactérias para estimular o crescimento de plantas em uma única aplicação. Similarmente, Rojas-Sánchez *et al.* (2025) relatam que a combinação de *Pseudomonas fluorescens* (UM270) e fosfato diamônico incrementou em 40% a produtividade

de milho, comparada às plantas cultivadas somente com fosfato diamônico. Segundo os autores, *P. fluorescens* (UM270) possui vários mecanismos de promoção do crescimento, como a produção de sideróforos, antibióticos, formação de biofilme e solubilização de fosfatos.

Em termos de resposta vegetal, diversos estudos corroboram que a ação desses micro-organismos promotores do crescimento vegetal (MPCV) resulta em melhorias diretas na capacidade fotossintética e no *status* nutricional do milho. Neste contexto, Rêgo *et al.* (2014) e Nascente *et al.* (2016) relatam que *Pseudomonas fluorescens* atua como um promotor do crescimento vegetal e aumenta o conteúdo de clorofila, a taxa de fotossíntese, a absorção de nutrientes, a solubilização de P e a produção de biomassa. Desta maneira, micro-organismos capazes de solubilizar P, como *Pseudomonas fluorescens*, traduz-se em alternativa para promover o uso mais eficiente do P aplicado, via adubação ou já contido no solo, tornando a agricultura mais sustentável e maximizando os processos biológicos do solo.

A eficiência dos MPCV no incremento da produtividade está intrinsecamente ligada à capacidade de modular a fisiologia da planta. Micro-organismos como *Pseudomonas fluorescens* destacam-se por possuírem múltiplos mecanismos de promoção do crescimento, que vão além da solubilização de fosfato e incluem a produção de sideróforos e a formação de biofilme.

Desta forma, a utilização desses inoculantes, como a *P. fluorescens*, traduz-se em uma estratégia crucial para maximizar os processos biológicos do solo e o uso mais eficiente de fósforo (P) já aplicado ou presente no ambiente. A compreensão dessas interações microbianas é fundamental para maximizar a eficiência da biotecnologia agrícola.

OBJETIVO

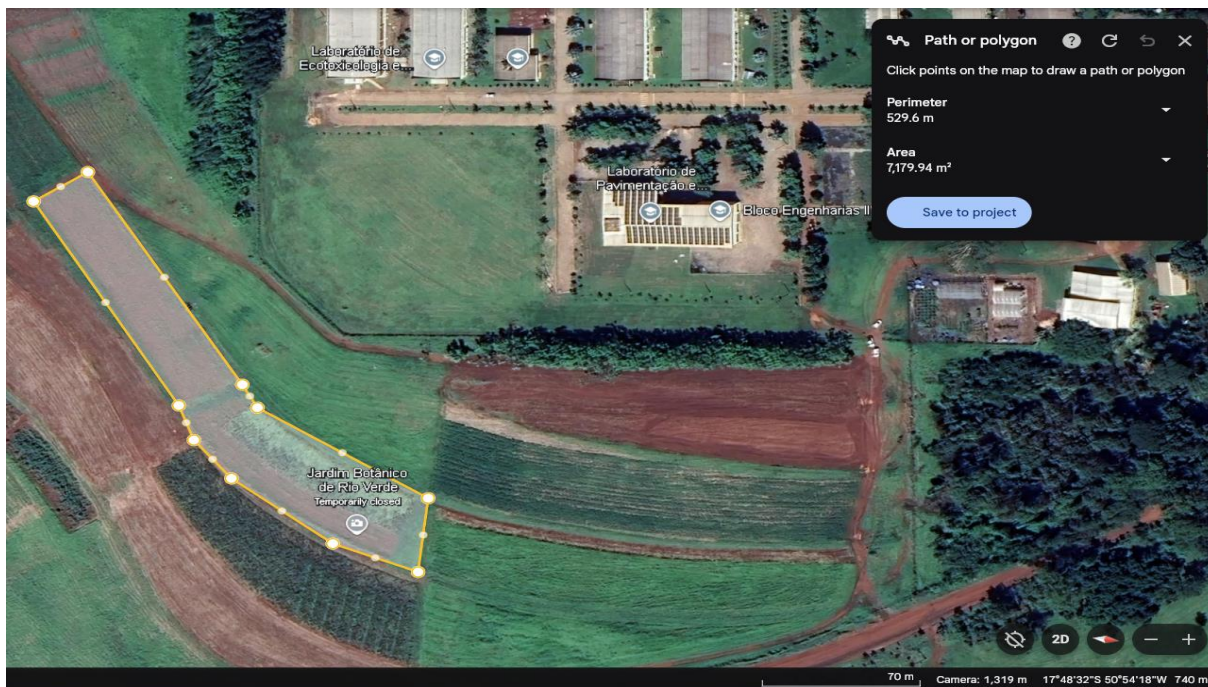
Avaliar a eficiência de isolados microbianos promotores do crescimento de plantas e níveis de adubação fosfatada, na cultura do milho, cultivada no Cerrado.

MATERIAL E MÉTODOS

Um ensaio de campo com a cultura do milho foi conduzido na safra de verão de 2023/24, na Área Experimental do IF Goiano - Campus Rio Verde, GO (Tabelas 1 a 4). As condições climáticas da região são típicas do Cerrado brasileiro, caracterizadas pela precipitação média anual entre 1.500 e 1.800 mm, concentrada entre outubro e março. As temperaturas médias variam de 22 a 28°C, podendo atingir máximas de 35°C no verão, e a

umidade relativa do ar situa-se entre 60% e 80% durante a estação chuvosa.

Tabela 1. Localização do ensaio de campo com milho, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).



O ensaio foi instalado em delineamento experimental de blocos ao acaso, esquema fatorial 3 x 5 (três níveis de fertilização fosfatada: 0, 50 e 100% da dosagem recomendada de P e cinco tratamentos de inoculação: *Azospirillum brasilense*, *Pseudomonas fluorescens*, *A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderia* sp. e *Priestiamegaterium* + *Bacillus subtilis*), com quatro repetições.

As populações de *Azospirillum* sp. nativos no solo foram avaliadas 7 dias antes do plantio, sendo estimadas pelo método de contagem em placas de Petri, de acordo com a IN n° 30 do MAPA (MAPA, 2010) (Tabela 2).

Tabela 2. Características do local de condução do ensaio com a cultura do milho, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Local de instalação	Local (coordenadas geográficas)	Altitude (m)	Precipitação (mm) durante o período	<i>Azospirillum</i> sp. (UFC g solo ⁻¹)
IF Goiano - Campus Rio Verde	Latitude: 17° 32' 35" S, Longitude 51° 02' 42" O	744	613	4,1 x 10 ³

Tabela 3. Características químicas e granulométricas do local do ensaio com milho, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

pH (CaCl ₂)	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	CTC	M.O.	V	Areia	Silte	Argila
	--mg dm ⁻³ --		-----cmol _c dm ⁻³ -----				g dm ⁻³		-----%-----			
5,3	4,8	86	4,4	1,3	0,03	1,6	7,6	41,1	55,6	39	16	45

Extratores: Mehlich 1 (P e K); KCl (Ca, Mg e Al); H+Al: acidez total do solo (solução tampão SMP a pH 7,5); CTC: capacidade de troca de cátions; M.O. (matéria orgânica: método colorimétrico); V (saturação por bases no solo)

Tabela 4. Detalhamento das informações do local de condução do ensaio com a cultura do milho, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Data do plantio	Híbrido	Fertilização (padrão*)	Densidade (plantas /ha)	Espaçamento	Cultura antecedente	Tratamento de sementes	Data da colheita
04/12/2023	DKB 360 PRO 3	400 kg ha ⁻¹ (08:30:20)	60.000	0,50	Milho	Imidacloprido + Tiodicarbe® (2 mL kg sementes ⁻¹)	06/04/2024

*Adubação aplicada 7 dias após o plantio (DAP), a lanço.

Em relação aos níveis de adubação fosfatada, o tratamento de referência (100%) correspondeu à dose para atingir 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹, enquanto os demais níveis consistiram em 50% e 0% dessa dose. Quanto à adubação nitrogenada, foi ajustada proporcionalmente aos níveis de P, com 200 kg de N por hectare aplicados no tratamento com 100% de P, e reduções equivalentes nos demais níveis. Essa abordagem integrada do manejo nutricional visa simular condições de campo e otimizar a eficiência do uso de nutrientes, em consonância com as discussões de Amado *et al.* (2019) sobre a importância da fertilização localizada e do uso de fontes organominerais para a sustentabilidade agrícola.

Cada parcela foi constituída por seis linhas de plantio, espaçadas de acordo com as recomendações técnicas da cultura. A inoculação das sementes foi realizada com os isolados microbianos oriundos da coleção do Laboratório de Microbiologia Agrícola do IF Goiano - Campus Rio Verde. Antes da aplicação, os isolados foram multiplicados em meio apropriado e tiveram a concentração padronizada para 8 x 10⁹UFC mL⁻¹.

O manejo fitossanitário da área experimental seguiu um protocolo padronizado, com uma aplicação do herbicida RoundupTransorb® (N-fosfometilglicina, equivalente ácido de 480 g L⁻¹) na dose de 2,5 L ha⁻¹, sendo o controle pós-emergente realizado com atrazina (500 g L⁻¹) na dose de 3,0 L ha⁻¹, associada a nicosulfuron (40 g L⁻¹) na dose de 1,5 L ha⁻¹, aplicados entre os estádios V3 e V5. Para o controle de pragas (lagarta-do-cartucho,

cigarrinha-do-milho), o controle foi realizado com aplicações de clorantraniliprole (100 mL ha⁻¹), e espinosade (100 mL ha⁻¹), direcionadas ao cartucho das plantas. Quanto ao controle de doenças (ferrugem, cercosporiose e mancha branca), foi feita aplicação de *pyraclostrobina* + *epoxiconazol* (300 mL ha⁻¹), entre os estádios V8 e R1.

Aos 35 dias após a emergência (DAE), foram avaliadas: massa seca e teores de N e P da parte aérea. Na colheita, os parâmetros avaliados incluíram: massa de mil grãos, teores de N e P nos grãos e produtividade de grãos. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Scott-Knott (5%), utilizando o software Sisvar (Ferreira, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram observados efeitos das doses de fosfatos e dos inoculantes de solubilizadores de P, avaliando-se a massa seca de parte aérea. O teor de N na parte aérea do milho foi influenciado pela interação entre doses de P e os diferentes inoculantes. Em condições de 0% de P, destacaram-se *Pseudomonas fluorescens* e a coinoculação de *P. megaterium* + *B. subtilis*, indicando que esses micro-organismos foram eficientes em melhorar a absorção ou assimilação de N mesmo sob deficiência fosfatada (Tabela 5). Desse modo, A inoculação estimulou significativamente o desenvolvimento radicular, o que é decisivo para aumentar a produtividade de grãos e as concentrações de N nas folhas e nos grãos (BARBOSA *et al.*, 2022).

Tabela 5. Teor de N da parte aérea de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderia</i> sp.	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de N de parte aérea (mg kg ⁻¹)				
0% de P	3,53 Ba	3,93 Aa	2,64 Cb	2,87 Cb	3,95 Aa
50% de P	3,54 Aa	2,78 Bb	2,69 Bb	2,11 Cc	3,52 Ab
100% de P	3,48 Ba	3,98 Aa	3,37 Ba	3,82 Aa	3,34 Bb
CV (%)	5,1				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Com 50% de P, observou-se redução geral dos teores de N, especialmente no tratamento com *Bacillus* + *Paraburkholderia*, sugerindo que a eficiência desses micro-

organismos pode estar condicionada à maior disponibilidade de P no solo.

Na dose de 100% de P, os maiores teores de N foram obtidos com *P. fluorescense* *Bacillus* + *Paraburkholderia*, reforçando o efeito sinérgico entre a adubação fosfatada e promotores do crescimento vegetal, possivelmente pela maior atividade metabólica microbiana e melhor funcionamento do sistema radicular. Sandiniet *al.* (2019) apresentou aumento no teor foliar de N em milho inoculado com *P. fluorescens*, associado à maior eficiência de absorção e assimilação de N.

A Tabela 6 demonstra que o teor de P na parte aérea aumentou de forma consistente com o aumento da dose de P, especialmente na condição de 100% de P, confirmando a resposta esperada da cultura à adubação fosfatada. Resultado corrobora com Cruz *et al.* (2025), que mostraram efeitos positivos na nutrição e acúmulo de nutrientes, incluindo P nas partes vegetativas da cultura com o uso da inoculação com micro-organismos solubilizadores de P.

Tabela 6. Teor de P de parte aérea de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderia</i> sp.	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de P de parte aérea (mg kg ⁻¹)				
0% de P	0,16 Bb	0,16 Bb	0,18 Aa	0,15 Bb	0,20 Aa
50% de P	0,16 Bb	0,16 Bb	0,19 Aa	0,15 Bb	0,18 Aa
100% de P	0,22 Aa	0,18 Ba	0,19 Ba	0,20 Aa	0,13 Cb
CV (%)	5,4				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Nas doses de 0 e 50% de P, os tratamentos com *A. brasilense* + *P. fluorescens* e *P. megaterium* + *B. subtilis* proporcionaram teores superiores de P, evidenciando a capacidade de solubilização de formas menos disponíveis de P no solo. Rêgo *et al.* (2014) e Nascente *et al.* (2016) relatam que a aplicação de *P. fluorescens* promove o aumento do conteúdo de clorofila e da taxa de fotossíntese, além de intensificar a absorção de nutrientes e a produção de biomassa. A utilização desses inoculantes constitui, portanto, uma estratégia crucial para maximizar os processos biológicos do solo e o uso mais eficiente de P já aplicado ou presente no ambiente.

O desempenho inferior de *P. megaterium* + *B. subtilis* a 100% de P pode indicar menor eficiência relativa quando o nutriente já se encontra amplamente disponível, reduzindo

o benefício adicional da solubilização microbiana. Souza & Almeida (2024) demonstraram que isolados bacterianos solubilizam fosfato inorgânico e beneficiam o crescimento de plantas de milho pela maior disponibilidade de P, contudo, é importante observar o mecanismo de cada micro-organismo em relação a solubilização e maior disponibilização de P no sistema solo-planta.

Na Tabela 7, o teor de N nos grãos foi significativamente influenciado pelos inoculantes, sobretudo em condições de baixa disponibilidade de P. A coinoculação de *Bacillus* + *Paraburkholderia* proporcionou o maior teor de N nos grãos na ausência de adubação fosfatada, sugerindo melhor redistribuição de N da parte aérea para os grãos, fator essencial para a qualidade nutricional da produção (Sandini *et al.*, 2019).

Tabela 7. Teor de N em grãos de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderia</i> sp.	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de N em grãos (mg kg ⁻¹)				
0% de P	2,60 Ba	2,47 Ba	2,11 Cb	3,64 Aa	1,70 Dc
50% de P	2,16 Bb	2,27 Ba	2,44 Ba	2,95 Ab	2,27 Ba
100% de P	2,16 Ab	1,91 Bb	2,16 Ab	2,11 Ac	2,01 Bb
CV (%)	5,2				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Com o aumento das doses de P, observou-se maior uniformidade entre os tratamentos, indicando que a adubação fosfatada tende a reduzir a dependência da cultura em relação aos efeitos dos inoculantes sobre o acúmulo de N nos grãos. Tais efeitos estão correlacionados com mecanismos fisiológicos influenciados pela inoculação que permite maior alocação de N aos órgãos reprodutivos (RÊGO *et al.*, 2014).

Na Tabela 8, observa-se que os maiores teores de P nos grãos ocorreram nos tratamentos com coinoculação, principalmente *A. brasilense* + *P. fluorescens*, nas doses de 50 e 100% de P. Esses resultados sugerem que a ação conjunta desses micro-organismos favorece não apenas a absorção, mas também a translocação de P para os grãos, aspecto fundamental para a formação e o enchimento dos grãos. Rojas-Sánchez *et al.* (2025) demonstraram que a inoculação com *Pseudomonas fluorescens* aumentou significativamente o teor de P nos grãos de milho, resultado atribuído à maior solubilização e translocação de P.

Tabela 8. Teor de P em grãos de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos e doses de adubação fosfatada, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra de verão 2023/24).

Recomendação de P	Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)				
	<i>Azospirillum brasilense</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>
	Teor de P em grãos (mg kg ⁻¹)				
0% de P	0,18 Ba	0,18 Ba	0,17 Bc	0,18 Ba	0,23 Aa
50% de P	0,19 Ba	0,20 Ba	0,25 Aa	0,16 Bb	0,21 Bb
100% de P	0,19 Ba	0,19 Ba	0,22 Ab	0,17 Cb	0,17 Cc
CV (%)	5,0				

Médias seguidas de mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Em condição de 0% de P, o consórcio *P. megaterium* + *B. subtilis* destacou-se, reforçando seu potencial como alternativa para sistemas com menor uso de fertilizantes fosfatados. De acordo com Chargaset *al.* (2018), os benefícios proporcionados pelas espécies de *Bacillus* spp. Multiplicam-se quando combinados com outras práticas de manejo adequadas.

Na Tabela 9, foi evidenciado que os consórcios microbianos promoveram incremento significativo no peso de mil grãos, em comparação aos tratamentos com inoculação isolada. O maior peso foi obtido com *A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* + *Paraburkholderia* e *P. megaterium* + *B. subtilis*. Ferreira *et al.* (2020) observaram aumento significativo no peso de grãos de milho inoculado com *Azospirillum brasilense*, atribuíram esse efeito à melhora no estado nutricional da planta, corroborando o maior peso de mil grãos, que pode ter sido potencializado pela coinoculação.

Tabela 9. Peso de mil grãos de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)	Peso de mil grãos (g)
<i>Azospirillum brasilense</i>	0,30 b
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	0,30 b
<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	0,32 a
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderiasp.</i>	0,32 a
<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>	0,32 a
CV (%)	6,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Esse aumento indica melhora no enchimento de grãos, possivelmente associada ao maior suprimento de nutrientes e à eficiência fisiológica promovida pelos promotores de crescimento vegetal, como maior atividade fotossintética e melhor balanço hormonal. Sandiniet *al.* (2024) demonstraram que a coinoculação de *Azospirillum brasilense* e

Pseudomonas fluorescens promove aumento do peso de mil grãos em milho, efeito semelhante ao observado neste trabalho. Além disso, Hernández *et al.* (2024) relataram que a inoculação com *Azospirillum brasilense* melhora os componentes de rendimento do milho.

A Tabela 10 evidencia que os consórcios de inoculantes resultaram nas maiores produtividades de grãos, com destaque para *A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* + *Paraburkholderia*, *P. megaterium* + *B. subtilis* com produtividade de 7.685 a 7.885 kg ha⁻¹. Esses tratamentos superaram significativamente os inoculantes aplicados isoladamente, evidenciando efeito sinérgico entre os micro-organismos. Barbosa *et al.* (2022) confirmaram incrementos na produtividade de grãos de milho inoculado com *Azospirillum brasilense*; Sandini *et al.* (2019) e Rojas-Sánchez *et al.* (2025), observaram incrementos de produtividade associados à melhoria da nutrição mineral promovida por *Pseudomonas fluorescens*, que apesar de não demonstrarem os melhores resultados isolados, quando ambos consorciados, incrementaram a produtividade.

Tabela 10. Produtividade de grãos de milho cultivado com tecnologias de inoculação de isolados solubilizadores de fosfatos, na Área Experimental do IF Goiano – Campus Rio Verde, GO (safra 2023/24).

Inoculantes (promotores do crescimento de plantas)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)
<i>Azospirillum brasilense</i>	7.266 b
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	7.223 b
<i>A. brasilense</i> + <i>P. fluorescens</i>	7.885 a
<i>Bacillus</i> sp. + <i>Paraburkholderia</i> sp.	7.850 a
<i>P. megaterium</i> + <i>B. subtilis</i>	7.685 a
CV (%)	6,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Scott-Knott, 5%).

Este desempenho é notável quando comparado às médias regionais. Os resultados desta pesquisa, com média perto de 7.500 kg/ha, superaram as médias reportadas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB (5.878 kg/ha) e pela Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SEAPA (5.900 kg/ha) para a safra 2023/24 na região de estudo. O avanço sinaliza o potencial dos tratamentos de inoculação em maximizar o teto produtivo do milho. Chen *et al.* (2021) demonstraram que a interação entre fertilização fosfatada e bactérias promotoras do crescimento resulta em maior produtividade de milho, corroborando os efeitos positivos dos consórcios microbianos observados.

Desse modo, o impacto da inoculação é consistentemente positivo. Rojas-Sánchez *et al.* (2025) observaram incremento de até 40% na produtividade do milho pela coinoculação com *Pseudomonas fluorescens*. Os benefícios de *A. brasilense* e consórcios microbianos são amplamente documentados no contexto brasileiro (FERREIRA *et al.*, 2020; BARBOSA *et*

al., 2022; HERNÁNDEZ *et al.*, 2024).

CONCLUSÃO

A coinoculação de *Priestiamegaterium*+*Bacillus subtilis*, ou *Bacillus* sp.+*Paraburkholderiasp.*, ou ainda *Azospirillum brasilense*+ *Pseudomonas fluorescens* potencializa a produtividade de milho, comparada à inoculação isolada de *A. brasilense* ou *P. fluorescens*.

As tecnologias de coinoculação (*A. brasilense* + *P. fluorescens*, *Bacillus* sp. + *Paraburkholderiasp.* e *P. megaterium* + *B. subtilis*) favorecem os sistemas de baixo uso de insumos quanto os que visam otimizar a eficiência dos fertilizantes fosfatados industrializados convencionais.

6. REFERÊNCIAS

- AMADO, T. J. C. et al. Distribuição horizontal e vertical de fósforo e potássio em área manejada com ferramentas de Agricultura de Precisão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 105-110, 2019.
- BARBOSA, J. Z.; ROBERTO, L. A.; HUNGRIA, M.; CORRÊA, R. S.; MAGRI, E.; CORREIA, T. D. Meta-analysis of maize responses to *Azospirillum brasilense* inoculation in Brazil: Benefits and lessons to improve inoculation efficiency. **Applied Soil Ecology**, v. 170, p. 104276, 2022.
- CHAGAS, L. F. B., MARTINS, A. L. L., CARVALHO FILHO, M. R., MILLER, L. O., OLIVEIRA, J. C.; JUNIOR, A. F. C. *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* sp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. **Agri-environmental Sciences**, v. 3, p. 10-18, 2017.
- CHEN, L., LI, K.; SHANG, J.; WU, Y.; CHEN, T.; WANYAN, Y.; SUI, X. Plant growth-promoting bacteria improve maize growth through reshaping the rhizobacterial community in low-nitrogen and low-phosphorus soil. **Biology and Fertility of Soils**, v. 57, p. 1075-1088, 2021.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da Safra Brasileira - Grãos**. Safra 2023/24. 8º Levantamento, maio de 2024.
- CRUZ, D. R. C.; NASCENTE, A. S.; FERREIRA, I. V. L.; MONTEIRO, N. O. C.; DUARTE, G. A.; ROCHA, I. S. Phosphate-solubilizing microorganisms and phosphorus rates affecting yield, nutrient uptake and economic viability of corn and rice in the off-season. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 55, p. e82218, 2025.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.
- FERREIRA, L. L., SANTOS, G. F., CARVALHO, I. R., FERNANDES, M., CARNEVALE, A. B., LOPES, K., CURVÊLO, C. Inoculation of *Azospirillum brasilense* in corn. **Communications**, v. 10, p. 037-045, 2020.
- HERNÁNDEZ, A. G., SILVA, E. P., FERREIRA, P. A. A., LOVATO, P. E., OLIVEIRA, G. P.; SOARES, C. R. F. S. Inoculation methods and agronomic efficiency of *Azospirillum brasilense* strain Az39 for corn crop under different Brazilian edaphoclimatic conditions. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 19, p. e3609, 2024.
- JAREMTCHUK, A. R. et al. Características agronômicas e bromatológicas de vinte genótipos de milho (*Zea mays* L.) para silagem na região leste paranaense. **Acta Scientiarum - Animal Sciences**, v. 27, p. 181-188, 2005.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 30, de 12 de novembro de 2010**.

NASCENTE, A. S.; FILIPPI, M. C. C.; LANNA, A. C.; SOUZA, A. C. A.; LOBO, V. L. S.; SILVA, G. B. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, p. 2956-2965, 2016.

POSADA, A.; MEJÍA, D.; POLANCO-ECHEVERRY, D.; CARDONA, J. Rizobacterias promotoras Del crecimiento vegetal (PGPR): Una revisión sistemática 1990-2019. **Revista de Investigación Agraria y Ambiental**, v. 12, p.161–178, 2021.

RÊGO, M. C. F., ILKIU-BORGES, F., FILIPPI, M. C. C. D., GONÇALVES, L. A., & SILVA, G. B. D. Morphoanatomical and biochemical changes in the roots of rice plants induced by plant growth-promoting microorganisms. **Journal of Botany**, v. 2014, p. 818797, 2014.

ROJAS-SÁNCHEZ, B., OROZCO-MOSQUEDA, M. D. C., SANTOYO, G. Field assessment of a plant growth-promoting pseudomonas on phytometric, nutrient, and yield components of maize in a milpa agrosystem. **Agricultural Research**, v. 14, p. 143-158, 2025.

SANDINI, I. E., PACENTCHUK, F., HUNGRIA, M., NOGUEIRA, M. A., CRUZ, S. P. da, NAKATANI, A. S., ARAUJO, R. S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen application in maize. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 22, p. 1369-1375, 2019.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; HUNGRIA, M.; NOGUEIRA, M. A.; CRUZ, S. P.; NAKATANI, A. S.; ARAUJO, R. S. Seed inoculation with *Pseudomonas fluorescens* promotes growth, yield and reduces nitrogen applications in maize. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 22, p. 1369-1375, 2019.

SANDINI, I. E.; PACENTCHUK, F.; FRANCO, D. A. S.; SANDINI, A. H. Bacterial consortium of *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* on the stimulation of growth of corn culture. **Ciência Rural**, v. 54, p. 1-11, 2024.

SANTOS, M. P. et al. Seleção de variedades de milho com alta produtividade e resistência a fumonisin no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, p. 112-128, 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Boletim Informativo (Governo de Goiás) - **Agro em Dados**, março de 2024, 22p.

SOUZA, J. A. M.; ALMEIDA, W. E. S. Análise molecular 16S rRNA, solubilização do fostato e influência no crescimento de soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) por bactérias isoladas do solo. **Científica, Dracena**, v. 52, p. 1-13, 2024.