



Doses e modos de aplicação de solubilizador de fósforo no milho safrinha

Doses and application methods of phosphorus solubilizer on second-crop maize

Hugo Elói Coutinho de Oliveira ¹, José Luiz Rodrigues Torres ¹, Valdeci Orioli Júnior ¹,
 Rose Luiza Moraes Tavares ², Arcangelo Loss ³, Dinamar Márcia da Silva Vieira ⁴

RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de doses e métodos de aplicação de um solubilizador de fósforo sobre a disponibilidade de P no solo, o estado nutricional das plantas e a produtividade de grãos de milho de segunda safra cultivado em Latossolo Vermelho Distrófico do Cerrado brasileiro. O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, avaliando sete tratamentos com doses do solubilizador (0 a 300 mL ha⁻¹), aplicadas em área total ou no sulco de plantio, com quatro repetições. O bioinsumo, associado à adubação fosfatada, elevou o P disponível no solo em até 313% e aumentou linearmente o P remanescente nas três profundidades avaliadas. O incremento das doses em área total promoveu resposta linear positiva na produtividade de grãos. A aplicação de 150 mL ha⁻¹ no sulco proporcionou melhor estado nutricional das plantas, maior teor de P disponível no solo (33,02 mg dm⁻³) e maior rendimento de grãos (2,12 Mg ha⁻¹), com incrementos de 26% em relação à testemunha e de 9% em comparação à adubação fosfatada sem o bioinsumo. O bioinsumo mostrou potencial para otimizar o aproveitamento de fertilizantes fosfatados e aumentar a produtividade do milho safrinha no Cerrado.

Palavras-chave: *Zea mays* L., solubilizador de fosfato, P disponível, biofertilizante, Cerrado.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of phosphorus-solubilizing bioinput rates and application methods on soil phosphorus availability, plant nutritional status, and grain yield of second-season maize grown in a dystrophic Red Latosol in the Brazilian Cerrado. The experiment was conducted in a randomized complete block design with split plots, evaluating seven treatments with bioinput rates ranging from 0 to 300 mL ha⁻¹, applied either over the entire area or in the planting furrow, with four replications. The bioinput, combined with phosphate fertilization, increased soil available P by up to 313% and promoted a linear increase in remaining P across the three evaluated soil depths. Increasing bioinput rates applied over the entire area resulted in a positive linear response in grain yield. The application of 150 mL ha⁻¹ in the planting furrow provided the best plant nutritional status, the highest soil available P content (33.02 mg dm⁻³), and the highest grain yield (2.12 Mg ha⁻¹), representing increases of 26% compared with the untreated control and 9% compared with phosphate fertilization without the bioinput. The bioinput showed potential to optimize phosphate fertilizer use and increase second-season maize productivity in the Brazilian Cerrado.

Keywords: *Zea mays* L., phosphate solubilizer, P available, biofertilizer, Cerrado

¹ Instituto Federal do Triângulo Mineiro;

² Universidade de Rio Verde;

³ Universidade Federal de Santa Catarina;

⁴ Universidade Federal de Uberlândia.

Autor correspondente José Luiz Rodrigues Torres: jlrtorres@iftm.edu.br

Recebido em: 25/03/2025. Aceito em: 15/06/2026.

Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

1 INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é uma das culturas mais cultivadas no mundo, e o Brasil ocupa a terceira posição entre os maiores produtores, com produção de 131,9 milhões de toneladas (Mt) de grãos na safra 2022/23. As projeções oficiais indicam que a produção brasileira deverá continuar aumentando, atingindo 151,0 Mt na safra 2029/30, enquanto o milho safrinha, cultivado em sucessão à soja, responde por mais de 70% da produção nacional, especialmente na região do Cerrado (Conab, 2024). O desempenho da cultura resulta da interação entre ambiente, planta e manejo, exigindo condições edafoclimáticas favoráveis ao longo de todo o ciclo fenológico (Torres *et al.*, 2024). Entretanto, por se desenvolver em período de menor disponibilidade hídrica e de radiação solar, esse sistema de cultivo torna-se mais suscetível a estresses abióticos, tornando o manejo nutricional decisivo para a obtenção de elevados rendimentos.

O aumento dessa produção está diretamente relacionado ao manejo e à adubação da cultura, visto que o milho é exigente em nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (Coelho *et al.*, 2019). Contudo, os solos predominantes nos trópicos e subtropicais apresentam baixa fertilidade natural, elevada acidez e alta capacidade de adsorção de P, de modo que parte considerável do fósforo inorgânico aplicado seja retida em formas pouco disponíveis às plantas. Dessa forma, o P é considerado o nutriente que mais limita o rendimento das culturas nesses ambientes (Pavinato *et al.*, 2020; Vieira *et al.*, 2023).

O baixo teor de P disponível nesses solos exige a aplicação desse macronutriente em maiores quantidades por meio de fertilizantes fosfatados solúveis, como estratégia para minimizar os efeitos da elevada adsorção do nutriente (Torres *et al.*, 2023). Os modos de aplicação mais utilizados incluem a distribuição a lanço na superfície, com ou sem incorporação, e a deposição localizada no sulco de plantio. Contudo, a incorporação dos fertilizantes fosfatados aumenta a área de contato com o solo, favorecendo a adsorção de P e podendo reduzir sua eficiência de absorção pelas plantas (Casali *et al.*, 2016). Por outro lado, fertilizantes fosfatados de alta solubilidade são recomendados para aplicação no sulco de plantio, promovendo maior concentração de P na região de desenvolvimento das raízes, embora essa estratégia possa restringir o crescimento inicial do sistema radicular (Resende; Furtini Neto, 2007). Independentemente do método de aplicação, a eficiência dos fertilizantes fosfatados varia de apenas 10% a 25%, resultando em baixa disponibilidade de P para as plantas (Richardson; Simpson, 2011).

Quanto à aplicação de fontes de P, ainda existem divergências quanto à estratégia mais eficiente. Enquanto alguns autores defendem a aplicação a lanço, outros enfatizam a aplicação localizada no sulco de plantio, fundamentando essa recomendação na baixa mobilidade do P no solo e no risco potencial de escoamento superficial em direção aos corpos d'água (Prochnow *et al.*, 2017).

Diante das limitações da fertilização fosfatada convencional, o uso de microrganismos solubilizadores de fósforo tem sido amplamente investigado como

estratégia complementar para aumentar a disponibilidade de P no solo e reduzir parcialmente a dependência de fertilizantes minerais. A solubilização e a mineralização do fosfato por esses microrganismos representam uma alternativa promissora, pois aqueles presentes no solo e na rizosfera são capazes de liberar P por meio da produção de ácidos orgânicos e da ação de enzimas, como fosfatases e fitases, que acidificam a rizosfera e promovem sua liberação por substituição de prótons e complexação de íons metálicos (Owen *et al.*, 2015; Mosela *et al.*, 2025).

Quando utilizados como biofertilizantes, esses microrganismos contribuem para o aumento da absorção de P e do rendimento das culturas (Huu *et al.*, 2022; Beltran-Medina *et al.*, 2023). Entre aqueles com maior potencial solubilizador, destacam-se espécies do gênero *Bacillus*, como *B. subtilis* e *B. megaterium*, amplamente estudadas pela capacidade de solubilizar fosfatos insolúveis e promover o crescimento vegetal por diferentes mecanismos (Gouda *et al.*, 2018; Oliveira-Paiva *et al.*, 2024).

A hipótese deste estudo é que microrganismos solubilizadores de fósforo sejam capazes de aumentar a disponibilidade de P no solo por meio da solubilização de fosfatos inorgânicos, e que a otimização das doses e dos modos de aplicação possa favorecer a absorção desse nutriente e incrementar a produtividade do milho safrinha. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito de diferentes doses e modos de aplicação de um inoculante fosfato-solubilizador, aplicado em área total ou no sulco de plantio, sobre a disponibilidade de P no solo, o estado nutricional das plantas e a produtividade de grãos do milho safrinha cultivado em Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado mineiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA EXPERIMENTAL

O estudo foi conduzido em área experimental da Fazenda Barreiro, localizada na BR-365, sentido Patos de Minas–Patrocínio, km 422, zona rural do município de Patos de Minas, MG (18°40'50,0" S; 46°38'01,8" O; altitude aproximada de 1.000 m). A área, com 44 hectares, é manejada sob sistema de semeadura direta há pelo menos cinco anos, em rotação soja/milho. O experimento foi conduzido entre fevereiro e agosto de 2022.

Na safra anterior à implantação do experimento, foi cultivada a soja cultivar NS 6906 IPRO (ciclo de 105 dias), semeada em 02/11/2021 e colhida em 15/02/2022. O milho híbrido P3707YHV (Pioneer) foi semeado em 28/02/2022 e colhido em 06/08/2022, completando aproximadamente 159 dias de ciclo.

O clima local é classificado como tropical quente e úmido (Aw), segundo Köppen-Geiger atualizado por Beck *et al.* (2020), com precipitação média anual de 1.479 mm e temperatura média anual de 21,5 °C (INMET, 2024). Durante o período experimental (fevereiro a agosto de 2022), registrou-se precipitação acumulada de 616 mm e temperatura média de 22,09 °C (Figura 1).

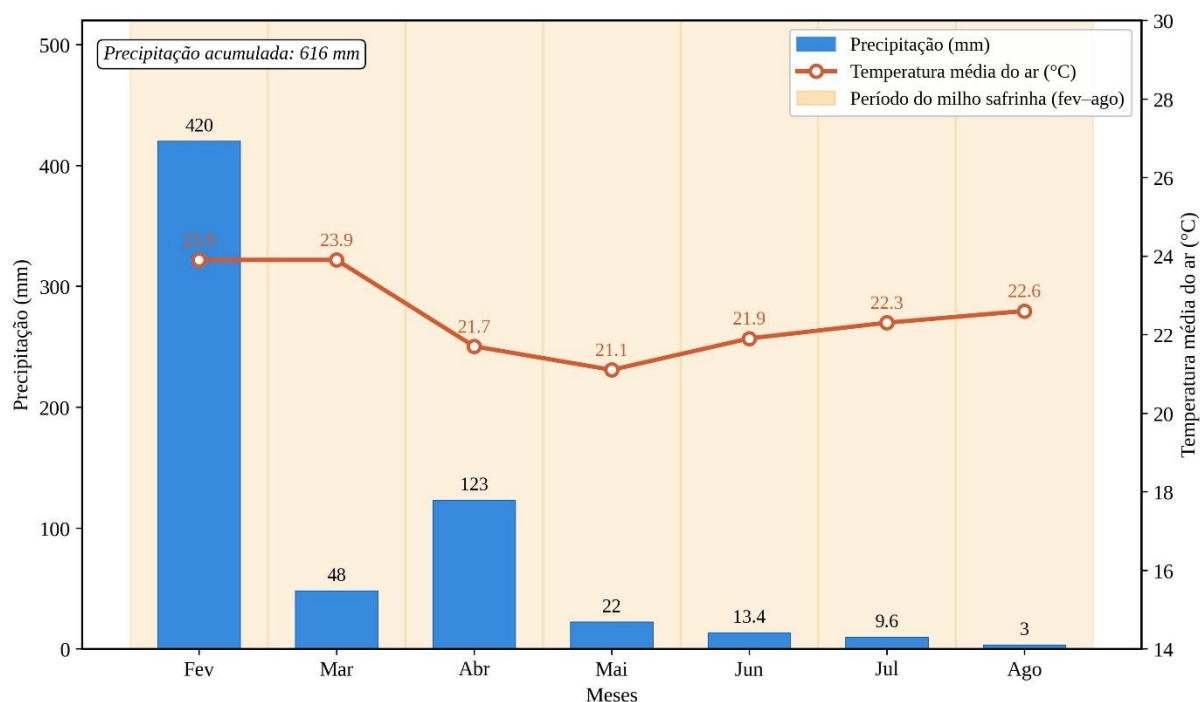


Figura 1. Precipitação pluviométrica e temperaturas médias mensais do ar no período de fevereiro a agosto de 2022, obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), durante a condução da pesquisa.

Fonte: os autores (2025)

O solo predominante na área é o Latossolo Vermelho distrófico de textura argilosa (Santos *et al.*, 2018). Antes da instalação do experimento, na camada de 0–0,20 m, foram determinados os seguintes atributos: 450 g kg⁻¹ de argila, 250 g kg⁻¹ de areia e 300 g kg⁻¹ de silte; pH em H₂O de 5,8; P disponível (Mehlich-1) de 8,0 mg dm⁻³; P remanescente de 25,8 mg dm⁻³; K de 98 mg dm⁻³; Ca de 1,16 cmol_c dm⁻³; Mg de 0,34 cmol_c dm⁻³; Al de 0,6 cmol_c dm⁻³; H+Al de 1,9 cmol_c dm⁻³; S de 1,0 mg dm⁻³; matéria orgânica de 18,0 g kg⁻¹; CTC de 4,04 cmol_c dm⁻³ e saturação por bases (V%) de 56%. E os micronutrientes: B (0,14 mg dm⁻³), Cu (0,61 mg dm⁻³), Fe (26 mg dm⁻³), Mn (13,31 mg dm⁻³) e Zn (0,33 mg dm⁻³).

2.2 INOCULANTE SOLUBILIZADOR DE FÓSFORO

O inoculante comercial utilizado foi o BiomaPhos® (Bioma/Simbiose; registro MAPA nº PR 000497-9.000045 para milho), desenvolvido pela Embrapa Milho e Sorgo em parceria com a empresa Bioma após aproximadamente 20 anos de pesquisa (Oliveira-Paiva *et al.*, 2020). O produto é formulado na forma líquida e contém duas cepas bacterianas solubilizadoras de fosfato: *Bacillus subtilis* CNPMS B2084, caracterizada como endofítica de milho, e *Bacillus megaterium* CNPMS B119, isolada da rizosfera de plantas de milho cultivadas em solos do Cerrado, na concentração de 4×10^9 células viáveis mL⁻¹ (Oliveira-Paiva *et al.*, 2021).

Os mecanismos de atuação do bioinsumo no solo envolvem dois processos complementares: (i) solubilização de fosfatos inorgânicos adsorvidos aos óxidos de ferro, alumínio e cálcio, por meio da liberação de ácidos orgânicos pelas bactérias,

promovendo a acidificação da rizosfera, a substituição de prótons e a complexação de íons metálicos; e (ii) mineralização do fósforo orgânico pela produção de fosfatases e fitases, atribuída principalmente a *B. subtilis* e *B. megaterium*, respectivamente (Oliveira-Paiva *et al.*, 2021; Owen *et al.*, 2015).

Além disso, as bactérias presentes no produto produzem fitormônios, sideróforos e biofilme, que estimulam o desenvolvimento do sistema radicular, o que amplia a área de absorção de nutrientes das plantas (Sousa *et al.*, 2021). A capacidade de formação de endósporos confere às cepas elevada estabilidade em condições adversas de temperatura (até 65 °C), pH e exposição a pesticidas (Oliveira-Paiva *et al.*, 2021).

As doses recomendadas para aplicação em área total é de 100 mL ha⁻¹ e para sulco de plantio é de 150 mL ha⁻¹ (Oliveira-Paiva *et al.*, 2021), sendo esta última a dose adotada no tratamento T7 do presente estudo.

2.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e quatro repetições. As parcelas principais corresponderam a sete tratamentos, constituídos pela combinação da adubação fosfatada de base no sulco de plantio (AFBSP) com doses do inoculante fosfato-solubilizador (SP): T1 = sem AFBSP e sem SP (testemunha absoluta); T2 = com AFBSP e sem SP (controle); T3 = AFBSP + 75 mL ha⁻¹ de SP em área total (AT); T4 = AFBSP + 150 mL ha⁻¹ de SP em AT; T5 = AFBSP + 225 mL ha⁻¹ de SP em AT; T6 = AFBSP + 300 mL ha⁻¹ de SP em AT; e T7 = AFBSP + 150 mL ha⁻¹ de SP no sulco de plantio (SPI). As subparcelas corresponderam às profundidades de amostragem do solo (0–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m).

Cada parcela foi composta por seis linhas de 5,0 m de comprimento, espaçadas em 0,50 m, com semeadura de três sementes por metro linear, totalizando população de 60.000 plantas ha⁻¹. As duas linhas centrais constituíram a área útil para as avaliações, mantendo-se 0,5 m de bordadura em cada extremidade.

2.4 MATERIAL VEGETAL E SEMEADURA

O híbrido utilizado foi o P3707YHV (Pioneer), geneticamente modificado, resistente às principais pragas da cultura e ao glifosato, com ciclo aproximado de 160 dias para cultivo na segunda safra. A semeadura foi realizada em 28/02/2022 e a colheita em 06/08/2022.

O inoculante foi aplicado nos tratamentos T3 a T6 (área total) foram realizadas logo após a semeadura, com pulverizador a base de cilindros de CO₂, equipado com barra de três metros e seis bicos tipo leque, regulados conforme pressão, vazão por bico, largura da barra e velocidade de deslocamento. No tratamento T7, a aplicação foi realizada diretamente no sulco de plantio, com o mesmo equipamento, sendo as sementes distribuídas manualmente na densidade desejada.

2.5 ADUBAÇÃO

As doses de N, P e K foram definidas com base na análise química do solo, segundo a recomendação da 5ª Aproximação (Ribeiro *et al.*, 1999), totalizando 16,5 kg ha⁻¹ de N, 78 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e dispensando a aplicação de K₂O. A fonte de fósforo utilizada foi o fosfato monoamônico granulado (MAP: 11% de N e 52% de P₂O₅), aplicado no sulco de plantio nos tratamentos que receberam AFBSP. No tratamento T1, não foi realizada fertilização fosfatada na base.

A adubação de cobertura foi realizada aos 20 dias após a semeadura, com aplicação de 200 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N), fornecendo ao fornecimento de 90 kg ha⁻¹ de N, e 50 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio (KCl, 56% de K₂O), fornecendo 28 kg ha⁻¹ de K₂O. No tratamento T1, foi realizada apenas a adubação nitrogenada de cobertura com ureia.

2.6 MANEJO FITOSSANITÁRIO

O monitoramento de pragas e doenças foi realizado semanalmente desde o início do ciclo da cultura. Quando atingido o nível de controle, foram realizadas quatro aplicações ao longo do ciclo da cultura. A primeira, aos 10 dias após a semeadura (DAS), consistiu da aplicação do inseticida Tiametoxam + Lambda-cialotrina (Engeo Pleno S, 0,25 L ha⁻¹) e fertilizantes foliares (Starter Mn, 2 L ha⁻¹; Quantis, 2 L ha⁻¹). A segunda, aos 18 DAS, repetiu o mesmo inseticida. A terceira, aos 48 DAS, associou o inseticida ao fungicida Azoxistrobina + Difenconazol (Priori Top, 0,3 L ha⁻¹). A quarta, aos 60 DAS, utilizou apenas o fungicida e fertilizantes foliares. Todas as aplicações foram realizadas com pulverizador de arrasto Jacto 2000, com pontas de jato cônico vazio, regulado para aplicar 200 L ha⁻¹ de calda.

2.7 AVALIAÇÕES

2.7.1 Estado nutricional das plantas

Para avaliação do estado nutricional, foram coletadas 10 folhas por parcela por terço basal da folha oposta e abaixo da primeira espiga, excluindo a nervura central, por ocasião do aparecimento da inflorescência feminina, conforme Martinez, Carvalho e Souza (1999). As amostras foram secas em estufa com ventilação forçada (65–70 °C, 72 h), moídas em moinho tipo Wiley e encaminhadas para determinação dos teores de nutrientes segundo Teixeira *et al.* (2017).

2.7.2 Atributos químicos do solo

Após a colheita do milho, foram coletadas cinco amostras deformadas de solo por parcela, com trado tipo Saci, nas profundidades de 0–0,10, 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m, nas entrelinhas. Foram determinados: N total (Kjeldahl); P disponível (Mehlich-1) e K (digestão nítrico-perclórica); Ca e Mg (espectrofotometria de absorção atômica); S (turbidimetria); e carbono orgânico (Walkley e Black modificado), todos segundo Teixeira *et al.* (2017).

2.7.3. Produtividade de grãos

A colheita foi realizada nas duas linhas centrais de cada parcela, com 0,5 m de bordadura em cada extremidade. A massa de grãos foi corrigida para 13% de umidade e os resultados expressos em kg ha⁻¹ e Mg ha⁻¹.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade de variâncias (Bartlett), bem como ao teste de aditividade dos blocos. Após a confirmação dos pressupostos, procedeu-se à análise de variância com aplicação do teste F; havendo efeito significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do software AgroEstat. Os dados de absorção de nutrientes e de atributos químicos do solo foram submetidos à análise de regressão utilizando o software SigmaPlot versão 12.5.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ESTADO NUTRICIONAL DAS PLANTAS

As análises foliares indicaram que o tratamento T1 (sem adubação fosfatada de base no sulco de plantio (AFBSP) e sem solubilizador de fósforo (SP)) apresentou o menor teor foliar de P (1,20 g kg⁻¹). Nos tratamentos T2 a T7, não foram observadas diferenças significativas para esse nutriente, cujos valores variaram de 2,05 a 2,30 g kg⁻¹ (Tabela 1). O menor teor registrado entre esses tratamentos (2,05 g kg⁻¹, T2) representou incremento de aproximadamente 171% em relação à testemunha absoluta, evidenciando a importância da adubação fosfatada para a nutrição do milho.

Tabela 1. Estado nutricional do milho safrinha no momento da floração, após a aplicação de diferentes doses e modos de aplicação de inoculante, em Patos de Minas, MG

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
T1	29,22 a*	1,20 b	12,25 b	4,32 d	2,26 d	0,97 b
T2	28,55 a	2,05 a	15,25 a	5,60 c	3,10 b	1,52 a
T3	23,60 b	2,10 a	15,25 a	5,86 b	2,80 c	1,42 a
T4	22,80 b	2,20 a	15,75 a	5,95 b	3,31 b	1,47 a
T5	19,22 c	2,22 a	15,00 a	6,14 a	3,50 a	1,60 a
T6	23,95 b	2,30 a	14,75 a	6,39 a	3,42 a	1,60 a
T7	23,27 b	2,30 a	15,75 a	5,80 b	2,88 c	1,60 a
Teste F	23,87**	40,46**	5,66**	16,74**	17,75**	8,42**
CV %	5,82	5,94	6,82	5,73	6,30	10,57

*Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05). T1: sem adubação fosfatada de base no sulco de plantio (AFBSP) e sem solubilizador de fósforo (SP); T2: com AFBSP, sem SP; T3 a T6: AFBSP + 75, 150, 225 e 300 mL ha⁻¹ de SP em área total, respectivamente; T7: AFBSP + 150 mL ha⁻¹ de SP no sulco de plantio. CV: coeficiente de variação. Fonte: os autores (2025)

Contudo, ressalta-se que nenhum dos tratamentos atingiu os níveis de suficiência foliar de P para o milho, estabelecidos entre 2,5 e 3,5 g kg⁻¹ por Martinez *et al.* (1999), com exceção de T6 e T7, cujos teores de 2,30 g kg⁻¹ aproximaram-se do limite inferior dessa faixa, ainda que sem atingi-lo. Esse resultado sugere que, nas condições experimentais avaliadas, possivelmente em decorrência do déficit hídrico registrado no período crítico da cultura (Figura 1), a disponibilidade de P foi limitante mesmo nos tratamentos com maior aporte do inoculante.

Os resultados evidenciaram ainda que a ausência de adubação mineral fosfatada na base (T1) reduziu a absorção foliar de todos os macronutrientes avaliados (P, K, Ca, Mg e S), com exceção do N. Para esses nutrientes, os menores teores foram: P (1,20 g kg⁻¹), K (12,25 g kg⁻¹), Ca (4,32 g kg⁻¹), Mg (2,26 g kg⁻¹) e S (0,97 g kg⁻¹). Em contraste, os tratamentos T5 (AFBSP + 225 mL de SP em área total) e T6 (AFBSP + 300 mL de SP em área total) apresentaram as maiores concentrações foliares para Ca e Mg, enquanto T6 e T7 se destacaram para P e S (Tabela 1).

O comportamento inverso do N, cujo menor valor foi registrado em T5 (19,22 g kg⁻¹) e o maior em T1 (29,22 g kg⁻¹), está relacionado ao efeito de diluição pela biomassa. Segundo Oliveira Neto *et al.* (2023), em plantas de milho com maior potencial produtivo, os nutrientes presentes nos tecidos tendem a ser diluídos em razão do maior crescimento vegetativo, o que explica os menores teores de N nos tratamentos com maior produção de biomassa.

A absorção interdependente de N e P pelas plantas envolve múltiplos processos fisiológicos e moleculares. A deficiência de P pode estimular a absorção de N, ao passo que níveis elevados de P tendem a suprimir esse processo, por meio da regulação da morfologia radicular e da expressão de transportadores de nutrientes (Marschner, 2012). Segundo Torres *et al.* (2023), plantas cultivadas com doses intermediárias de P absorvem a quantidade necessária desse nutriente, levando à redução relativa da absorção de N; já em condições de doses baixas ou elevadas de P, ocorre desequilíbrio nutricional com consumo de luxo de P e maior absorção de N.

A análise de regressão para as doses do SP apresentou ajuste quadrático para N, K e S, cujos teores foliares decresceram até valores mínimos de 19,22; 15,51 e 1,43 g kg⁻¹, nas doses de 225, 125 e 75 mL do SP, respectivamente, com posterior aumento do N a partir dessas doses, enquanto K e S continuaram decrescendo até a dose máxima avaliada (300 mL). Para P e Ca, o ajuste foi linear e positivo, indicando resposta positiva nas doses do SP, que proporcionou aumento contínuo da absorção desses nutrientes pela planta (Figura 2).

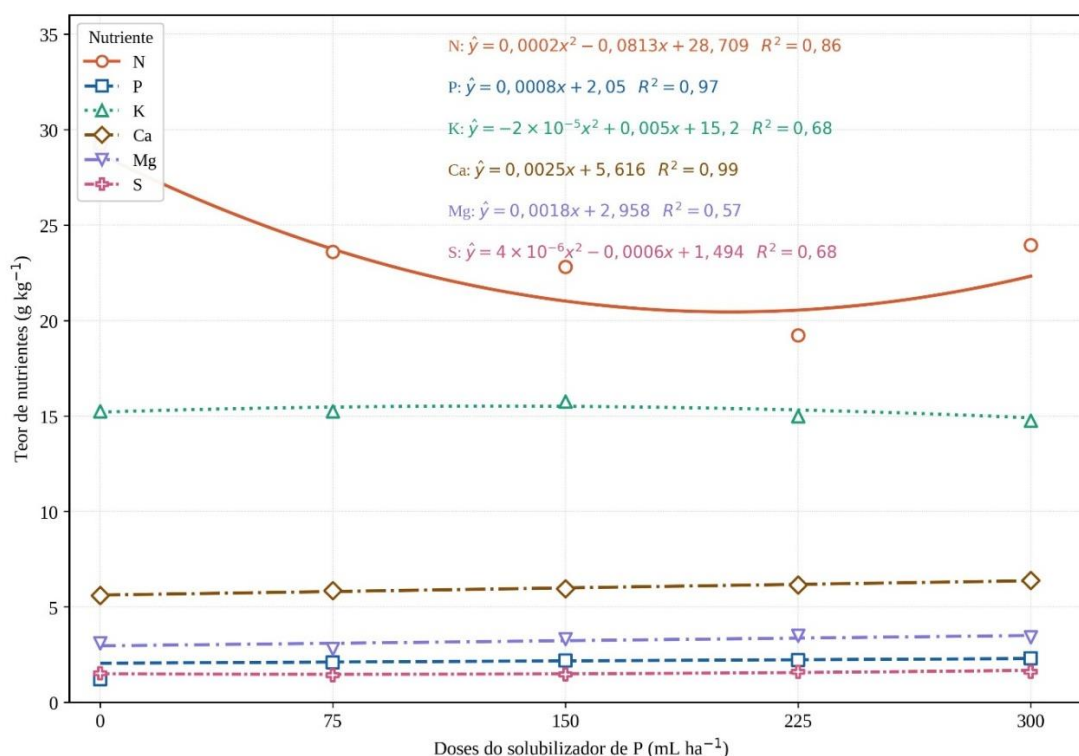


Figura 2. Curvas de regressão dos teores de N, P, K, S e Ca obtidos na análise foliar do milho safrinha, em função de doses do inoculante fosfato-solubilizador, em Patos de Minas, MG.

Fonte: os autores (2025)

Resultados semelhantes foram relatados por Moraes Brito *et al.* (2022), que, ao avaliarem a inoculação com o bioinsumo associado a fontes fosfatadas no desenvolvimento inicial do milho, verificaram interação significativa entre o inoculante e as fontes de P para diversas variáveis, incluindo os teores e o acúmulo foliar de P, além do pH do solo. A co-solubilização de P e Ca observada no presente estudo também corrobora os achados de Kayoumu *et al.* (2023), que demonstraram que o aumento do teor de P nas plantas pode incrementar o rendimento das culturas, melhorar a eficiência no uso de nutrientes e aumentar a tolerância aos estresses ambientais.

As respostas adaptativas das plantas à deficiência de P envolvem mecanismos como a liberação de compostos orgânicos solubilizadores, a expansão do sistema radicular e o aumento da atividade de transportadores de P nas células radiculares (Klamer *et al.*, 2019; Vieira *et al.*, 2023). Esses mecanismos são compatíveis com o modo de ação proposto para o inoculante, cujo desempenho tem sido associado ao aumento da disponibilidade de P na rizosfera por meio da produção de ácidos orgânicos e enzimas, como fosfatases e fitases (Oliveira-Paiva *et al.*, 2024). Contudo, esses mecanismos não foram avaliados diretamente neste estudo.

3.2 PRODUTIVIDADE DE GRÃOS

Todos os tratamentos que receberam o inoculante (T3 a T7) apresentaram produtividade média estatisticamente superior à do controle com adubação mineral exclusiva (T2) (Tabela 2). O maior rendimento de grãos foi obtido no tratamento T7 (AFBSP + 150 mL ha⁻¹ de SP no sulco de plantio), com 2,12 Mg ha⁻¹, equivalente a

aproximadamente 35 sacas ha^{-1} . Esse resultado correspondeu a incrementos de 26% em relação à testemunha absoluta (T1: 1,67 Mg ha^{-1}) e de 9% em comparação ao tratamento com adubação fosfatada sem inoculação (T2: 1,95 Mg ha^{-1}). Assim, a comparação entre T1 e T7 evidencia o efeito combinado da fertilização fosfatada e da inoculação, enquanto a comparação entre T2 e T7 permite estimar a contribuição adicional do bioinsumo sobre o rendimento da cultura.

Tabela 2. Produtividade de grãos do milho safrinha em função de doses e modos de aplicação de inoculante, em Patos de Minas, MG.

Tratamento	Produtividade do milho
	Mg ha^{-1}
T1	1,67 d
T2	1,95 c
T3	2,01 b
T4	2,05 a
T5	2,09 a
T6	2,10 a
T7	2,12 a
Teste F	68,02**
CV%	1,88

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). T1: sem adubação fosfatada de base no sulco de plantio (AFBSP) e sem solubilizador de fósforo (SP); T2: com AFBSP, sem SP; T3 a T6: AFBSP + 75, 150, 225 e 300 mL ha^{-1} de SP em área total, respectivamente; T7: AFBSP + 150 mL ha^{-1} de SP no sulco de plantio. CV: coeficiente de variação.

Fonte: os autores (2025)

As produtividades obtidas nos tratamentos com inoculante (2,01 a 2,12 Mg ha^{-1}) situaram-se abaixo da média nacional para o milho safrinha, estimada em 5,20 Mg ha^{-1} (Conab, 2024). Esse desempenho reduzido pode ser atribuído principalmente ao déficit hídrico severo e à distribuição irregular das chuvas durante o ciclo experimental. Embora a precipitação acumulada tenha sido de 616 mm, sua distribuição foi irregular ao longo do ciclo da cultura. Os meses de junho e julho, correspondentes ao período de enchimento de grãos, apresentaram precipitação praticamente nula, com 13,4 e 9,6 mm, respectivamente. Segundo Fancelli e Dourado Neto (2004), o milho necessita de 400 a 700 mm de água bem distribuídos ao longo do ciclo, sendo o período do embonecamento e enchimento de grãos uma das fases de maior exigência hídrica. Dessa forma, as respostas observadas devem ser interpretadas considerando esse contexto de estresse hídrico, que provavelmente limitou a expressão do potencial produtivo da cultura e pode restringir a extrapolação direta dos resultados para condições ambientais mais favoráveis ou para outros anos agrícolas.

Apesar dessa limitação climática, todos os tratamentos foram submetidos às mesmas condições ambientais durante todo o ciclo da cultura, permitindo uma comparação consistente entre as estratégias de manejo avaliadas. Assim, embora os valores absolutos de produtividade provavelmente tenham sido reduzidos pelo déficit

hídrico severo, as diferenças relativas observadas entre os tratamentos permanecem consistentes dentro das condições experimentais deste estudo e devem ser interpretadas nesse contexto.

A análise de regressão considerando exclusivamente as doses do SP (T2 a T6) demonstrou ajuste linear positivo, com coeficiente de determinação R^2 de 95%, indicando que o incremento nas doses do inoculante promoveu incrementos consistentes na produtividade da cultura (Figura 3). Esse comportamento reforça o potencial das bactérias solubilizadoras de fosfato em promover o crescimento e o rendimento de plantas, além de ampliar a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses bióticos e abióticos (Gouda *et al.*, 2018).

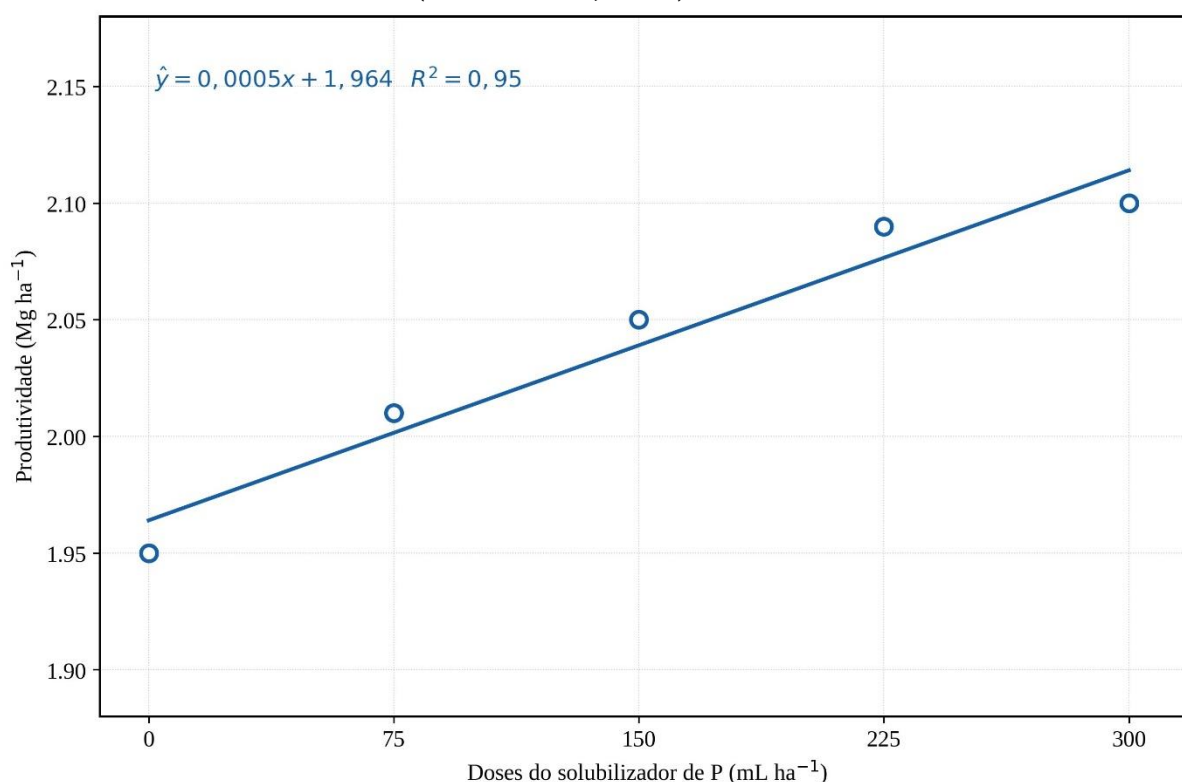


Figura 3. Regressão linear da produtividade de grãos do milho safrinha em função de doses do produto microbiológico, em Patos de Minas, MG.

Fonte: os autores (2025)

Kaur e Reddy (2013) demonstraram que a inoculação do milho com cepas de *Pantoea cyripedii* e *Pseudomonas plecoglossicida* resultou em aumento significativo no rendimento da cultura e na absorção total de P, evidenciando o potencial das bactérias solubilizadoras de fosfato como biofertilizantes. De forma semelhante, Oliveira-Paiva *et al.* (2024) verificaram que a inoculação com *B. megaterium* CNPMS B119 e *B. subtilis* CNPMS B2084, que são as mesmas cepas presentes no Bioinsumo, melhorou a aquisição de P e o rendimento do milho em condições brasileiras, com incrementos médios de produtividade de 8,6%, resultado próximo ao observado no presente estudo em relação ao controle com adubação mineral.

Cabe ressaltar, entretanto, que os resultados aqui obtidos referem-se a um único ciclo produtivo (safrinha 2022), conduzido sob condições de déficit hídrico severo na fase de enchimento de grãos. Esse fator limitante pode ter atenuado as respostas dos tratamentos, especialmente nas doses mais elevadas do SP, dificultando a expressão do potencial máximo do inoculante. Recomenda-se a condução de estudos em condições climáticas distintas e em múltiplos ciclos produtivos para maior robustez das conclusões, conforme sugerido por Beltran-Medina *et al.* (2023), que destacam a importância de avaliar inoculantes solubilizadores de P em diferentes ambientes e condições de manejo para validar sua eficácia agrônômica.

3.3 ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

A análise dos atributos químicos do solo após a colheita revelou diferenças significativas entre os tratamentos apenas para o P disponível (Mehlich-1) e o K, enquanto os demais atributos foram influenciados pela profundidade de amostragem (Tabela 3). Para todos os nutrientes avaliados, os maiores teores foram registrados na camada superficial (0–0,10 m), com redução gradual em profundidade, comportamento característico de áreas manejadas sob sistema de semeadura direta.

O maior teor de P disponível foi registrado no tratamento T7 (AFBSP + 150 mL de SP no sulco de plantio), com 33,02 mg dm⁻³, enquanto os menores valores ocorreram nos tratamentos sem SP (T1: 12,07 mg dm⁻³; T2: 26,12 mg dm⁻³). Considerando que a disponibilidade inicial de P no solo era de 8,0 mg dm⁻³, classificada como baixa, a adubação fosfatada isolada (T2) promoveu aumento de 226%. Nos tratamentos com SP (T3 a T6), os valores variaram de 27,99 a 32,22 mg dm⁻³, correspondendo a incrementos entre 250 e 303% em relação à condição inicial. O tratamento T7, com aplicação localizada no sulco de plantio, apresentou o maior incremento (313%).

O maior teor de K no solo foi observado no tratamento T4 (AFBSP + 150 mL de SP em área total), com 0,25 cmolc dm⁻³, diferindo significativamente dos demais. Essa resposta pode estar relacionada a aplicação do inoculante, que pode ter favorecido processos indiretos associados à ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. Como biomassa radicular e atividade microbiana não foram avaliadas diretamente, essa interpretação deve ser considerada uma hipótese explicativa.

Tabela 3. Atributos químicos do solo em função de doses e modos de aplicação de do inoculante e profundidade de amostragem, em Latossolo Vermelho distrófico sob cultivo de milho safrinha, em Patos de Minas, MG.

Tratamento	Atributos químicos									
	pH	P disp	P	K	Ca	Mg	H+A	SB	T	V
			rem				l			
	H ₂ O	mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				%
Doses (D)										
T1	5,7 7	12,83 f	12,07 g	0,18 c	2,97	1,04	2,65	4,19	6,84	60,75

Tratamento	Atributos químicos									
	pH	P disp	P rem	K	Ca	Mg	H+A l	SB	T	V
	H ₂ O	mg dm ⁻³	mg dm ⁻³			cmol _c dm ⁻³				%
T2	5,6 9	19,51 e	26,12 f	0,17 c	2,63	0,86	2,84	3,66	6,50	55,67
T3	5,6 7	22,11 d	27,99 e	0,21 b	2,73	0,75	2,77	3,69	6,46	55,83
T4	5,7 3	23,57 c	29,70 d	0,25 a	2,78	0,90	2,60	3,93	6,57	59,58
T5	5,4 8	25,10 c	30,76 c	0,20 b	2,20	0,66	3,20	3,06	6,27	49,25
T6	5,4 8	26,54 b	32,22 b	0,21 b	2,58	0,61	3,31	3,40	6,71	50,75
T7	5,5 1	28,35 a	33,02 a	0,20 b	2,54	0,65	3,13	3,39	6,52	52,08
Profundidade (P)										
0 - 10	5,76 e	27,72 a	30,10 a	0,22 a	3,08 a	0,92 a	3,33 a	4,22 a	6,77 a	62,03 a
10 - 20	5,61 e	21,99 b	28,28 b	0,19 b	2,63 b	0,79 b	2,91 b	3,61 b	6,53 b	54,96 b
20 - 30	5,49 c	18,00 c	23,85 c	0,19 b	2,18 c	0,65 c	2,55 c	3,02 c	6,36 c	47,53 c
Teste F D	2,46 _{ns}	195,29*	1252,27*	3,27*	1,04 ^{ns}	1,45 ^{ns}	1,81 ^{ns}	1,02 ^{ns}	0,30 ^{ns}	1,93 ^{ns}
Teste F P	56,09	81,66*	433,03*	3,85*	110,77*	79,92*	150,34*	122,90*	9,50*	404,97*
Teste F DxP	1,45 _{ns}	4,60**	15,27*	0,39 ^{ns}	1,28 ^{ns}	1,00 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,17 ^{ns}	0,97 ^{ns}	1,94 ^{ns}
CV% D	4,93	5,69	2,56	24,84	31,04	37,17	24,78	32,23	17,54	19,86
CV% P	1,73	3,66	2,98	19,09	8,56	10,34	5,79	7,88	5,36	3,48

*Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). P disp.: fósforo disponível (Mehlich-1), indica a fração do nutriente acessível às plantas; P rem: fósforo remanescente, indica a capacidade de adsorção de fósforo pelo solo, valores mais altos indicam menor capacidade de adsorção e maior potencial de disponibilização do nutriente. T1: sem adubação fosfatada de base no sulco de plantio (AFBSP) e sem solubilizador de fósforo (SP); T2: com AFBSP, sem SP; T3 a T6: AFBSP + 75, 150, 225 e 300 mL ha⁻¹ de SP em área total, respectivamente; T7: AFBSP + 150 mL ha⁻¹ de SP no sulco de plantio. ns: não significativo; * : *significativo a 5% de probabilidade*. CV: *coeficiente de variação*.

Fonte: os autores (2025)

Em relação ao P remanescente (P rem), indicador da capacidade tampão de adsorção de fósforo pelo solo e não da fração disponível de P, observou-se interação significativa entre as doses do SP e as profundidades de amostragem (Teste F D × P =

15,27*). O desdobramento dessa interação por meio de análise de regressão evidenciou ajuste linear para as três profundidades avaliadas (0–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m), com coeficientes de determinação (R^2) de 92, 99 e 97%, respectivamente (Figura 4).

O aumento do P rem observado com a aplicação do bioinsumo sugere que a inoculação possa estar associada à menor retenção do P proveniente da adubação fosfatada, favorecendo sua permanência na solução do solo ou em formas potencialmente mais disponíveis às plantas. Entretanto, como os processos de adsorção, dessorção e atividade microbiana não foram avaliados diretamente, essa interpretação deve ser considerada uma hipótese compatível com a literatura disponível. Esse comportamento é consistente com os resultados de Sahandi *et al.* (2019), que demonstraram que bactérias solubilizadoras de P aumentam a eficiência de utilização de fertilizantes fosfatados, e de Zhou *et al.* (2012), que estimaram que o processo de adsorção pode reter cerca de 75% do P aplicado ao solo por meio de fertilizantes minerais.

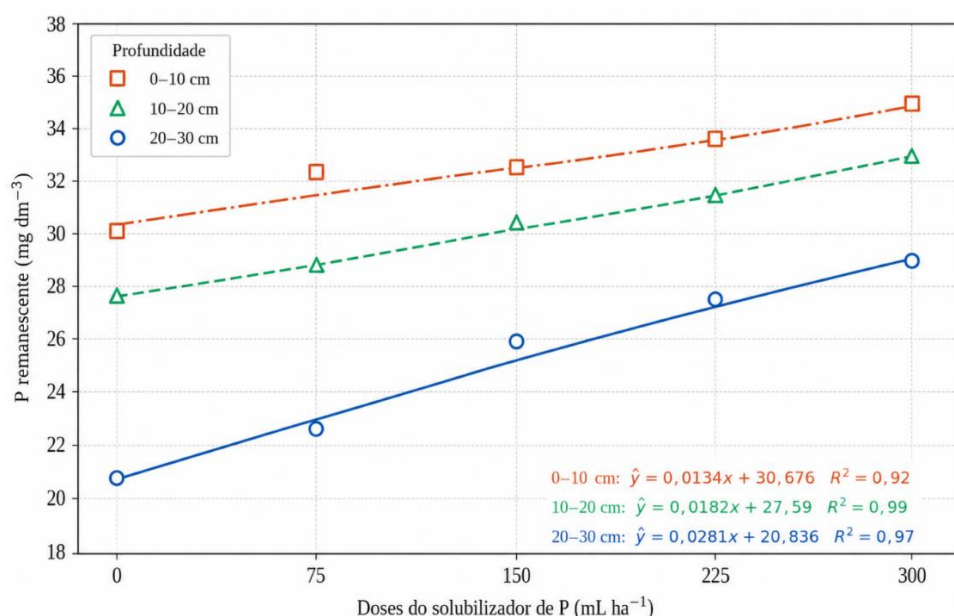


Figura 4. Regressão linear do fósforo remanescente (P rem) no solo em função de doses do bioinsumo, nas profundidades de 0–0,10; 0,10–0,20 e 0,20–0,30 m, em Patos de Minas, MG.
Fonte: os autores (2025)

Essa interpretação é reforçada pelos resultados de Prochnow *et al.* (2017), que destacaram a importância da localização do fertilizante fosfatado para maximizar sua eficiência em solos tropicais com elevada capacidade de adsorção de P, e por Azziz *et al.* (2012), que observaram aumento na disponibilidade desse nutriente em solos sob sistema de semeadura direta com o uso de bactérias solubilizadoras.

O conjunto dos resultados sugere que a aplicação do inoculante como complemento à fertilização fosfatada, especialmente no sulco de plantio, constitui uma estratégia promissora para aumentar o teor de P disponível no solo, melhorar o estado nutricional das plantas e incrementar a produtividade do milho safrinha

cultivado em Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado mineiro, mesmo sob condições de restrição hídrica.

Embora os resultados obtidos sejam consistentes, o experimento foi conduzido em um único ciclo produtivo e sob condições de déficit hídrico severo durante o enchimento de grãos. Dessa forma, estudos conduzidos em múltiplos anos agrícolas e sob diferentes condições edafoclimáticas poderão ampliar a robustez dessas evidências e contribuir para a extrapolação dos resultados a outras condições de cultivo.

4 CONCLUSÃO

A aplicação do solubilizador de fósforo como complemento à adubação fosfatada de base aumentou o teor de P disponível no solo em até 313%, com maiores concentrações na camada superficial (0–0,10 m) e redução em profundidade, evidenciando seu potencial como bioinsumo para otimizar a disponibilidade de fósforo em Latossolo Vermelho distrófico no Cerrado mineiro;

O aumento das doses do solubilizador aplicadas em área total (75 a 300 mL ha⁻¹) promoveu resposta linear positiva na produtividade de grãos, reforçando a contribuição do bioinsumo para o rendimento do milho safrinha;

A associação da adubação fosfatada de base com 150 mL ha⁻¹ do solubilizador aplicado no sulco de plantio (T7) apresentou o melhor desempenho agrônômico, proporcionando maior teor de P disponível no solo (33,02 mg dm⁻³), adequado estado nutricional das plantas e o maior rendimento numérico de grãos (2,12 Mg ha⁻¹), com incrementos de 26% em relação à testemunha absoluta e de aproximadamente 9% em comparação ao tratamento com adubação fosfatada sem inoculação.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal do Triângulo Mineiro Campus Uberaba pela infraestrutura disponibilizada, a Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG) ao auxílio concedido ao Programa de Pós-graduação Profissional em Produção Vegetal, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas aos estudantes e pesquisadores envolvidos no projeto, a Empresa Corteva, por autorizar a participação no programa de Pós-graduação e oferecer apoio constante durante o desenvolvimento deste projeto e ao produtor Davi Pereira Caixeta de Castro pelo apoio e concessão da área de estudo.

6 REFERÊNCIAS

AZZIZ, G.; BAJSA, N.; HAGHJOU, T.; TAULÉ, C.; VALVERDE, A.; IGUAL, J.M.; ARIAS, A. Abundance, diversity and prospecting of culturable phosphate solubilizing bacteria on soils under crop-pasture rotations in a no-tillage regime in Uruguay.

Applied Soil Ecology, v.61, p.320-326, 2012. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2011.10.004>.

BECK, H.E.; ZIMMERMANN, N.E.; MCVICAR, T.R.; VERGOPOLAN, N.; BERG, A.; WOOD, E.F. Publisher Correction: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data**, v.7, n.1, p. 274, 2020. DOI:
<https://doi.org/10.1038/s41597-020-00616-w>.

BELTRAN-MEDINA, I.; ROMERO-PERDOMO, F.; MOLANO-CHAVEZ, L.; PATARROYO-GUTIERREZ, A.; BONILLA-BUITRAGO, R.R. Inoculation of phosphate-solubilizing bacteria improves soil phosphorus mobilization and maize productivity. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.126, p.21-34, 2023. DOI:
<https://doi.org/10.1007/s10705-023-10268-y>.

CASALI, C.A.; TIECHER, T.; KAMINSKI, J.; SANTOS, D.R.D.; CALEGARI, A.; PICCIN, R. Benefícios do uso de plantas de cobertura de solo na ciclagem de fósforo. In: **Manejo e conservação do solo e da água em pequenas propriedades rurais no sul do Brasil: práticas alternativas de manejo visando à conservação do solo e da água**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. p. 23-33. Disponível em:
<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/149129>. Acesso em: 02 Dez. 2024.

COELHO, M.J.A.; DIAZ, D.R.; HETTIARACHCHI, G.M.; HANSEL, F.D.; PAVINATO, P.S. Soil phosphorus fractions and legacy in a corn-soybean rotation on Mollisols in Kansas, USA. **Geoderma Regional**, v.18, p.e00228, 2019. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2019.e00228>.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Perspectivas para a agropecuária. **Edição Grãos**. Verão, v.9, safra 2022/23, Brasília, DF, 2024, 82p. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 ago. 2024.

FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. 2. ed. Guaíba: Agropecuária, 2004, 360p.

GOUDA, S.; KERRY, D.G.; DAS, G.; PARAMITHIOTIS, S.; SHIN, H-S.; PATRA, J.K. Revitalization of plant growth promoting rhizobacteria for sustainable development in agriculture. **Microbiological Research**, v.206, p.131-140, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.08.016>.

HUU, T.N.; GIAU, T.T.N.; NGAN, P.N.; VAN, T.T.B.; KHUONG, N.Q. Potential of phosphorus solubilizing purple non-sulfur bacteria isolated from acid sulfate soil in improving soil property, nutrient uptake, and yield of pineapple (*Ananas comosus* L. Merrill) under acidic stress. **Applied and Environmental Soil Science**, v.2022, p.1-13, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/8693479>.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Informações sobre as condições climáticas em Patos de Minas, 2022**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 26 jan. 2025.

KAUR, G.; REDDY, M.S. Phosphate solubilizing rhizobacteria from an organic farm and their influence on the growth and yield of maize (*Zea mays* L.). **The Journal of General and Applied Microbiology**, v.59, n.4, p.295-303, 2013. DOI: <https://doi.org/10.2323/jgam.59.295>.

KAYOUMU, M.; IQBAL, A.; MUHAMMAD, N.; LI, X.; LI, L.; WANG, X.; GUI, H.; QI, Q.; RUAN, S.; GUO, R. Phosphorus availability affects the photosynthesis and antioxidant system of contrasting low-p-tolerant cotton genotypes. **Antioxidants**, v.12, n.2, p.466, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox12020466>.

KLAMER, F.; VOGEL, F.; LI, X.; BREMER, H.; NEUMANN, G.; NEUHAUSER, B.; HOCHHOLDINGER, F.; LUDEWIG, U. Estimating the importance of maize root hairs in low phosphorus conditions and under drought. **Annals of Botany**, v.124, n.6, p.961-968, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz011>.

MARSCHNER, H. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 2012, 651p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. **Diagnose foliar**. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. (ed.). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação*. Viçosa: UFV, 1999. p.143-168.

MOSELA, M.; ANDRADE, G.; NOGUEIRA, A.F.; WATANABE, L.S.; MIAN, S.; ANDREATA, M.F.L.; FARIA, M.V.; SCISLOWSKI, L.; FAGUNDES, D.F.V.; MARCOS, A.W.; CAVA, H.B.; CABRAL, P.D.S.; DA CONCEIÇÃO, R.W.; DE AZEVEDO, S.V.; CANDIDO, L.S.; AFONSO, L.; DE ASSIS, R.; GONÇALVES, L.S.A. *Bacillus siamensis* CCT8089: a novel phosphate-solubilizing bacterium enhancing maize and soybean growth. **Frontiers in Plant Science**, v.16, p.1671339, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1671339>. MORAIS BRITO, L.E.; DA MATA, A.L.A.R.;

DA SILVA, C.O.C.; DA SILVA, H.D.; DA SILVA, C.D.R.; DA LUZ, J.H.S. Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do biomaphos® associado a fontes fosfatadas. **Agri-environmental Sciences**, v.8, n.2, p.12-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.36725/agries.v8i2.7926>.

OLIVEIRA NETO, E.D.; RODRIGUES, H.C.A.; CAZETTA, J.O.; SOUZA, H.A. Respostas fisiológicas e enzimáticas no milho sob diferentes concentrações de nitrogênio. **Ciência Agroveterinária**, v.22, n.2, p.1 -11, 2023. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811712222023207>.

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; COTA, L.V.; DOS SANTOS, F.C.; DE SOUSA, S.M.; VASCO JUNIOR, R. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Circular Técnica**, n. 260, p. 18, 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1120362/recomendacao-agronomica-de-cepas-de-bacillus-subtilis-cnpms-b2084-e-bacillus-megaterium-cnpms-b119-na-cultura-do-milho>>. Acesso em: 02 Dez. 2024.

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; BINI, D.; MARRIEL, I.E.; GOMES, E.A.; SANTOS, F.C.; COTA, L.V.; SOUSA, S.M.; ALVES, V.M.C.; LANA, U.G.P.; SOUZA, F.F. Inoculante à base de bactérias solubilizadoras de fosfato nas culturas do milho e da soja (BiomaPhos®): dúvidas frequentes e boas práticas de inoculação. **Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, Comunicado Técnico**, n.252, 18p., 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1135409/inoculante-a-base-de-bacterias-solubilizadoras-de-fosfato-nas-culturas-do-milho-e-da-soja-biomaphos-duvidas-frequentes-e-boas-praticas-de-inoculacao>. Acesso em: 20 maio 2026.

OLIVEIRA-PAIVA, C.A.; BINI, D.; SOUSA, S.M.; RIBEIRO, V.P.; SANTOS, F.C.; LANA, U.G.P.; SOUZA, F.F.; GOMES, E.A.; MARRIEL, I.E. Inoculation with *Bacillus*

megaterium CNPMS B119 and *Bacillus subtilis* CNPMS B2084 improve P-acquisition and maize yield in Brazil. **Frontiers in Microbiology**, v.15, p.1426166, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1426166>.

OWEN, D.; WILLIAMS, A.P.; GRIFFITH, G.W.; WITHERS, P.J. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. **Applied Soil Ecology**, v.86, n.1, p.41-54, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.09.012>.

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. **Scientific Reports**, v.10, n.1, p.1-11, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72302-1>.

PROCHNOW, L.I.; RESENDE, A.V.; OLIVEIRA JUNIOR, A.D.; FRANCISCO, E.A.B.; CASARIN, V.; PAVINATO, P.S. Localização do fósforo em culturas anuais na agricultura nacional: situação importante, complexa e polêmica. **Informações Agronômicas**, p.158, n.19, p.1-5, 2017. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1081566>. Acesso em: 02 Dez. 2024.

RESENDE, A.V.; FURTINI NETO, A.E. **Aspectos relacionados ao manejo da adubação fosfatada em solos do Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2007, 32 p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.V.H. **Recomendação para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do estado de Minas Gerais, 1999, 359 p.

RICHARDSON, A.E.; SIMPSON, R.J. Soil microorganisms mediating phosphorus availability update on microbial phosphorus. **Plant Physiology**, v.156, n.3, p.989-996, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.111.175448>.

SAHANDI, M.S.; MEHRAFIN, A.; BADI, H.N.; SIGAROODI, F.K.; SHARIFI, M. Improving growth, phytochemical, and antioxidant characteristics of peppermint by phosphate-solubilizing bacteria along with reducing phosphorus fertilizer use. **Industrial Crops and Products**, v.141, p.111777, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111777>.

SANTOS, H.G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; CUNHA, T.J.F.; OLIVEIRA, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5ª. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2018, 356p.

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

TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solos**. 3.ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: Embrapa, 2017, 573p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1085209/manual-de-metodos-de-analise-de-solo>. Acesso em: 20 fev.2025.

TORRES, J.L.R.; ALMEIDA, D.D.A.; PEREIRA, M.G.; GUARDIEIRO, L.V.F.; LOSS, A.; LOURENZI, C.R.; GONZALEZ, A.P.; CARVALHO, M.; VIEIRA, D.M.S. Phosphorus fractionations and availability in areas under different management systems in the Cerrado. **Agronomy**, v.13, n.4, p.966, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy13040966>.

TORRES, J.L.R.; VIEIRA, D.M.S.; ORIOLI JÚNIOR, V.; DAINEIS, R.; PINTO, V.B.; ALVES, C.P.M.; GUIMARÃES, C.C.; SANTANA, G.M. Production of corn and soybean cultivated in succession and rotation with different coverages in the Cerrado. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v.18, n.2, p.e04458-e04458, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n2-015>.

VIEIRA, D.M.S.; TORRES, J.L.R.; CAMARGO, R.; SILVA, A.A.; LANA, R.M.Q.; CHARLO, H.C.O.; LEMES, E.M.; CARVALHO, E.R. Residual effects of phosphorus and micronutrients in vegetable growing areas under different organomineral fertilizer doses. **Horticulturae**, v.9, n.7, p. 761, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/horticulturae9070761>.

ZHOU, H.J.; LI-FAN, Y.; ZHANG, Y.F.; ZHANG, X.L.; QIAO, J.J. Conversion of spent mushroom substrate to biofertilizer using a stress-tolerant phosphate-solubilizing *Pichia farinose* FL7. **Bioresource Technology**, v.111, p.410-416, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.042>.