

**SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO NA
CULTURA DO MILHO**

por

ADRIANO VILELA PEREIRA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Bioenergia e Grãos

Rio Verde – GO

Outubro – 2024

SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO
NA CULTURA DO MILHO

Por

ADRIANO VILELA PEREIRA

Orientador:

Prof. Dr. José Milton Alves

IF Goiano – Campus Rio Verde

Coorientador:

Dr. Matheus Vinícius Abadia Ventura

IF Goiano – Campus Rio Verde

Examinadores:

Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine

IF Goiano – Campus Rio Verde

Dra. Priscila Ferreira Batista

Pesquisadora em Fertilidade - Gapes



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

Documentos 62/2024 - SREPG/CMPR/CPG-RV/DPGPI-RV/CMPRV/IFGOIANO

MICROORGANISMOS SOLUBILIZADORES DE FOSFATO ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO
MILHO

Autor: Adriano Vilela Pereira
Orientador: José Milton Alves

TITULAÇÃO: Mestre em Bioenergia e Grãos - Área de Concentração Agroenergia

APROVADA em 28 de agosto de 2024.

Assinado eletronicamente
Dra. Priscila Ferreira Batista
Avaliadora externa - ICT – Instituto de
Ciência e Tecnologia Gapes

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Matheus Vinícius Abadia
Ventura
Avaliador externo - IF Goiano Campus
Rio Verde

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine
Avaliador interno - IF Goiano Polo de
Inovação

Assinado eletronicamente
Prof. Dr. José Milton Alves
Presidente da Banca - IF Goiano
Campus Rio Verde

Documento assinado eletronicamente por:

- Jose Milton Alves, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 23/09/2024 10:29:07.
- Matheus Vinicius Abadia Ventura, 2022102344060002 - Discente, em 23/09/2024 10:39:02.
- Priscila Ferreira Batista, 2023102343960001 - Discente, em 24/09/2024 10:01:14.
- Alaerson Maia Geraldine, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/10/2024 15:58:57.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 28/08/2024. 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: 627798

Código de Autenticação: 6c45bf117e



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

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

☐ Tese (doutorado)	☐ Artigo científico
☒ Dissertação (mestrado)	☐ Capítulo de livro
☐ Monografia (especialização)	☐ Livro
☐ TCC (graduação)	☐ Trabalho apresentado em evento
☐ Produto técnico e educacional - Tipo:	
Nome completo do autor: Adriano Vilela Pereira	Matrícula: 2021202331540025
Título do trabalho: SOLUBILIZADORES DE FOSFATOS ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO	

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 21 / 11 / 24

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.

Documento assinado digitalmente
ADRIANO VILELA PEREIRA
Data: 21/10/2024 19:11:15-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

Rio Verde 21 / 10 / 2024
Local Data

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente
JOSE MILTON ALVES
Data: 07/11/2024 08:15:10-0300
Verifique em <https://validar.ifg.gov.br>

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus pelo dom da vida e por permitir a oportunidade para a realização de mais um sonho na minha carreira acadêmica e profissional.

À minha mãe Beatriz Goulart Vilela e à minha esposa Dayane de Oliveira, por sempre estarem ao meu lado, me educando e me ensinando que a única coisa que ninguém rouba neste mundo é a educação. Por todos os exemplos e ensinamentos compartilhados ao longo de toda minha vida, que me deram a base de formação para a pessoa que me tornei hoje. A vocês, a minha eterna gratidão.

Ao meu professor orientador, Dr. José Milton Alves, por ter acreditado no meu projeto, pela orientação, esforço e paciência, bem como pelo pronto atendimento e disponibilidade de tempo.

Aos amigos e colegas da pós-graduação do IF Goiano, Campus Rio Verde, pela convivência e troca de conhecimentos. Aos amigos pessoais e profissionais, por todo o esforço e ajuda ao longo da condução do projeto de Mestrado.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, pela oportunidade de realizar o curso de Pós-Graduação em Bioenergia e Grãos. Agradeço a todo corpo docente e a demais servidores da instituição que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação.

SUMÁRIO

	Página
1. RESUMO	8
2. INTRODUÇÃO	10
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÃO	32
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33

SOLUBILIZADORES DE FOSFATO ASSOCIADOS A FONTES DE FÓSFORO NA CULTURA DO MILHO

Por

ADRIANO VILELA PEREIRA (Sob Orientação do Professor Dr. José Milton Alves)

RESUMO: Na produção agrícola intensiva, o fósforo (P) se destaca pela sua pouca mobilidade no solo, pelo baixo nível de pH e pelo alto potencial de imobilização química e orgânica, fenômenos que limitam sua disponibilização para as plantas, o que obriga os produtores a aplicar grandes quantidades de adubos fosfatados para saturar os pontos de retenção e disponibilizar este nutriente para a absorção e assimilação pelas plantas. Uma das formas de se aumentar a disponibilidade de fósforo para as plantas é pela utilização de microrganismos solubilizadores de fósforo. Este trabalho objetivou avaliar o uso de solubilizadores de fosfatos associados a fontes de fósforo na cultura do milho. O experimento foi conduzido no Centro de Pesquisa CPA, situado em Rio Verde, Goiás. O delineamento foi em esquema fatorial 3x4, totalizando 12 tratamentos com 4 repetições. Os dados coletados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade, e quando constatados efeitos significativos entre os tratamentos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey. Os resultados demonstram que a utilização de solubilizadores de fósforo na cultura do milho é eficiente, promovendo incremento de produtividade, no entanto, ao tratar das fontes de fósforo, os adubos testados não obtiveram a mesma eficiência, sendo o superfosfato triplo a fonte mais eficaz ao tratar de ganho na produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: disponibilidade de fósforo, adubação fosfatada, bactérias.

ABSTRACT

PEREIRA, ADRIANO VILELA. Goiano Federal Institute, Morrinhos Campus, November 2022. **Phosphate solubilizers associated with phosphorus sources in corn crops.** Advisor: Prof. Dr. Pereira, Jardel Lopes. Co-advisor: Prof. Dr. Ventura, Matheus Vinícius Abadia.

Phosphorus (P) stands out in intensive agricultural production due to its low mobility in the soil, low pH level, and high potential for chemical and organic immobilization, which forces producers to apply large amounts of phosphate fertilizers to saturate retention points and make this nutrient available for absorption and assimilation by plants. One of the ways to increase the phosphorus availability to plants is by using phosphorus-solubilizing microorganisms. This paper aimed to evaluate the use of phosphorus-solubilizing microorganisms associated with phosphorus sources in corn crops. This experiment was carried out at the Agricultural Research Center (CPA, Brazilian acronym) in Rio Verde Municipality, Goiás State, Brazil. The design was in a 3x4 factorial scheme, totaling 12 treatments with 4 replicates. The collected data were subjected to analysis of variance by the F test at the 5% probability level and the means were compared using the Turkey test, when significant effects among treatments were found. The results showed that the use of phosphorus-solubilizers in corn crop is effective, promoting increased yield. However, the tested fertilizers did not show the same efficiency regarding phosphorus sources, with triple superphosphate being the most effective source for yield gains.

Keywords: Bacteria. Phosphate fertilization. Phosphorus availability.

1. INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um macronutriente indispensável para o crescimento e o desenvolvimento das plantas de milho, desempenhando funções estruturais e metabólicas. Ele é o componente da molécula adenosina trifosfato (ATP), responsável pela transferência de energia durante o processo de fotossíntese e respiração celular (WIWART et al., 2009; TAIZ; ZEIGER, 2009; KOUR et al., 2019).

Por fazer parte de vários processos durante o ciclo da cultura, a deficiência de fósforo (P) pode causar redução considerável na produtividade de grãos, sendo o segundo componente mais significativo para as plantas, constituindo cerca de 0,2% da massa seca dos vegetais (RAIJ et al., 1997; TAK et al., 2012; IKAHAJIAGBE, 2020). Sua deficiência apresenta certos sintomas como emergência e crescimento lentos, crescimento radicular limitado, folhas com coloração arroxeadas principalmente nos pecíolos e nervuras na parte abaxial e estiolamento (GONÇALVES, 2022).

Os solos do Cerrado brasileiro têm como característica serem deficientes em fósforo (P) principalmente em se tratando da sua disponibilidade para o fornecimento do nutriente para as culturas. Um dos fatores que contribuem para essa situação, é a adsorção do fósforo (P) pelos minerais de argila 1:1, óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro (KOUR et al., 2019; MARTINS, 2019).

O fósforo é considerado instável na forma inorgânica. Estima-se que a concentração presente na fração prontamente disponível para absorção (solução do solo) seja de, aproximadamente, 0,005 mg P L⁻¹, sendo que as principais culturas necessitam de 0,003 a 0,3 mg P L⁻¹ para seu pleno desenvolvimento vegetal e finalização de ciclo (HAVLIN et al., 1999). Como consequência, são reivindicadas altas doses de fertilizantes fosfatados a fim de suprir a necessidade da cultura em cultivo (NUNES et al., 2021).

Contudo, muitas vezes, a adubação fosfatada é feita em quantidade superior àquela realmente necessária.

O custo dos principais fertilizantes utilizados na agricultura brasileira teve uma alta de mais de 200% nos últimos nove anos, e todo esse aumento tem impactado diretamente nos custos da produção

agrícola do país, segundo dados do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea-Esalq/USP). Vale ressaltar que a adubação fosfatada tem baixa eficiência, uma vez que o fósforo (P) fornecido pode ser adsorvido nas estruturas dos minerais ou colóides presentes no solo.

Existem várias práticas agronômicas voltadas a aumentar a eficiência das adubações fosfatadas, incluindo o uso de diversas tecnologias. Entre essas práticas, destacam-se os microrganismos solubilizadores de fosfato, que são fáceis de aplicar no campo, têm baixo custo (on farm) e podem suplementar os fertilizantes químicos (OLIVEIRA et al., 2020). Neste contexto, visando a aumentar a eficiência da adubação, os agricultores passaram a utilizar a técnica da inoculação com microrganismos solubilizadores de fosfato (ZHU et al., 2018).

Estima-se que de 1 – 5% das bactérias presentes nos solos agrícolas sejam capazes de solubilizar o fosfato, variando sua eficiência de solubilização de acordo com o gênero, espécie e cepa. A maioria dos solubilizadores comerciais foram isolados de uma rizosfera, podendo ou não ser associados com outro microrganismo visando à eficiência do produto comercial (KOUR et al., 2021). Por outro lado, estes microrganismos podem promover o crescimento radicular da cultura, produção de fito-hormônios, enzimas e sideróforos, bem como a formação de uma bioproteção contra patógenos que, secundariamente, aumentam a absorção de nutrientes e água (SOUSA et al., 2020; ABADI et al., 2020; YADAV, 2022). A população destes microrganismos e sua capacidade de solubilização estão intimamente ligadas ao tipo e manejo do solo (NAHAS et al., 1994; RICHARDSON, 2001; ABADI et al., 2020).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A incorporação de novos produtos como inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) vem ganhando destaque na agricultura. Isso se deve ao seu potencial para melhorar a disponibilidade de fósforo no solo e, conseqüentemente, aumentar a produtividade das culturas. O fósforo é um nutriente essencial para o crescimento das plantas, e sua deficiência é um problema recorrente em muitas regiões agrícolas, incluindo o Cerrado brasileiro. A adoção de (BSP) surge como uma solução promissora para enfrentar esses desafios.

Estudos têm demonstrado que o uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato (BSP) aumentam significativamente o fósforo (P) disponível e sua absorção pelas plantas (IRSHAD et al., 2012; OWEN et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2020). Estes microrganismos têm uma grande capacidade de atuar diretamente na solubilização do fósforo presente nos solos brasileiros. Além disso, diversos trabalhos demonstram que os solubilizadores de fósforo (BSP) estão predominantemente distribuídos entre três filos bacterianos principais: Firmicutes, Actinobacteria e Proteobacteria (ALORI et al., 2017; LIANG et al., 2020; LI et al., 2023). A nível de gênero, estirpes pertencentes aos gêneros *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Rhizobium* são amplamente reconhecidas como as mais eficazes no quesito solubilização de fósforo (ZAIDI et al., 2009; ALORI et al., 2017; LI et al., 2023).

Estudo desenvolvido por Da Silva et al. (2022), conduzido em casa de vegetação a 280 m de altitude, utilizou vasos (8 dm³) preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo coletado na camada de 0-15 cm, apresentando textura média (27% de argila) e teor de P de 13,8 mg dm⁻³, semeado na safra 2020/2021, verificou que o *Bacillus subtilis* (cepa UFT-09) no tratamento de sementes proporcionou incremento nos índices de clorofila *a* e *b*, altura de plantas, massa seca da parte aérea e área foliar da cultura do milho, mostrando seus efeitos no desenvolvimento inicial da cultura. Trabalhos feitos com a utilização dos (BSP) em outros países possibilitaram estabelecer que uma redução da dose fósforo (P) em torno de 33 a 50% é viável quando se utiliza a prática da inoculação de microrganismo na semente de milho, soja e arroz (PATIL et al., 2012; RAJAPAKSHA et al., 2011; MAHANTA et al., 2018).

Estudo conduzido por Oliveira et al. (2020) nas safras 2018/2019 e 2019/2020 no sistema de sucessão soja-milho em diferentes estados brasileiros mostrou eficiência dos (BSP) em relação ao incremento de produtividade, ultrapassando a média de 140 sacas de milho por hectare.

Na cultura do milho, em que as adubações com fósforo (P) foram aplicadas, conforme recomendação da área, nos estados da Bahia, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, a utilização do produto BiomaPhos[®], à base de microrganismo (*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*), tendo sido aplicados 100 ml ha⁻¹ no tratamento de sementes, resultou em ganho médio de 8,6% na produtividade de grãos quando comparado com o controle (sem aplicação do BiomaPhos[®]), média de todos os estados analisados, tendo entretanto o ganho médio no estado de Goiás sido de 7,3% (OLIVEIRA et al., 2020).

Por outro lado, estudo conduzido por Miranda (2022) com o híbrido P 4285VYHR (precoce) na safrinha 2021 no estado de Goiás a 560 m de altitude, no qual o solo foi classificado como Latossolo Vermelho Eutrófico, argiloso (462 g kg⁻¹), fósforo (P) de 63,0 mg dm⁻³ na camada superficial (0-20 cm), verificou que a dose de (BSP) à base de *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium* proporcionou maior rentabilidade de grãos na dose de 250 ml ha⁻¹, aplicados via foliar no estágio fenológico V2.

Segundo Araújo et al. (2020), essas bactérias exibem diversas habilidades, incluindo a produção de fito-hormônios. Essa produção favorece a formação de pelos radiculares e o desenvolvimento das raízes. Manjula e Podile (2005) também observaram que a capacidade de sintetizar fito-hormônios desencadeia atividades fisiológicas associadas às redes de sinalização entre as raízes e o ambiente externo. Esse processo facilita a percepção e a absorção de nutrientes. Além disso, estudos têm demonstrado que o uso de bactérias solubilizadoras de fosfato aumenta significativamente a disponibilidade de fósforo (P) e sua absorção pelas plantas (IRSHAD et al., 2012; OWEN et al., 2015). Estes microrganismos têm grande capacidade de atuar diretamente na solubilização do fósforo presente nos solos brasileiros. Tal eficiência foi mostrada em diversos estudos de validação em escala de bancada (RICHARDSON et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2009).

Um estudo foi conduzido por Rosa et al. (2024) no Instituto Federal Catarinense, Campus Santa

Rosa do Sul, com clima tipo Cfa de acordo com a classificação de Köppen. A condução de um experimento num solo da área experimental, que foi classificado como Gleissolo Melânico, apresentando 20% de argila, no qual o teor de fósforo era de $108,5 \text{ mg dm}^{-3}$, teve início em outubro de 2021 na cultura do milho. Os autores verificaram que a utilização de solubilizadores à base de *Bacillus megaterium* e *Bacillus subtilis* permitiu e uma redução da dose de fertilizantes fosfatados em torno de 50%, tendo em vista que este solo manteve o patamar produtivo.

Os (BSP) têm mecanismos para solubilizar os fosfatos inorgânicos (Fe-P, Ca-P e Al-P), o que está sendo alcançado pela produção de ácidos orgânicos, ácidos inorgânicos, H_2S , excreção de enzimas extracelulares e via oxidação direta. Os microrganismos produzem diferentes ácidos orgânicos, incluindo ácido oxálico, ácido tartárico, ácido cítrico, ácido glucônico e ácido 2-cetoglucônico, que são capazes de formar quelatos com íons metálicos ligados ao fósforo (P), promovendo sua disponibilidade (YADAV, 2022).

Além disso, os principais mecanismos de ação envolvidos na solubilização de P estão relacionados à produção de ácidos carbônicos provenientes do CO_2 e de outros ácidos orgânicos, que têm a capacidade de reduzir compostos de Fe^{3+} para Fe^{2+} e de produzir H_2S em situações de deficiência de oxigênio (CATTELAN; HARTEL, 2000). Os ácidos orgânicos são compostos por hidroxicarboxílicos, como os ácidos láctico, glicólico, cítrico e succínico, que formam complexos com íons (Ca^{2+} e Fe^{3+}) auxiliando na liberação do fósforo (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, os (BSP) e suas diversas estratégias biológicas atuam de maneira sinérgica para aumentar a disponibilidade de fósforo no solo, um elemento essencial para o desenvolvimento vegetal.

Entretanto, em estudo conduzido por Jardini et al. (2024) em Várzea Grande -MT, no ano de 2023, os autores testaram 5 doses de adubação fosfatada (0, 60, 80, 100, 120 kg ha^{-1}) com e sem a inoculação de solubilizadores de fósforo (BiomaPhos®), via tratamento de sementes, sendo que o teor de fósforo no solo era de $30,5 \text{ mg dm}^{-3}$. Nessas condições, os autores observaram que a adição de bactérias solubilizadoras de fósforo (*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*) não promoveu incremento de produtividade nas 5 doses testadas.

Com o intuito de testar novas soluções para aumentar a produtividade das culturas e avaliar as novas formulações ainda não disponíveis no mercado, é importante desenvolver estudos a campo, considerando que, pelos resultados, será possível obter resposta sobre o uso correto dos solubilizadores de fosfatos associados a fertilizantes minerais.

Com base na hipótese de que o uso de microrganismos solubilizadores de fosfatos melhora a eficiência da adubação fosfatada, bem como o fornecimento e a disponibilidade de fósforo (P) para a cultura do milho, o objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes microrganismos solubilizadores de fosfato e suas interações com a adubação fosfatada (fosfato natural e superfosfato triplo).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto foi conduzido na safra 2022/2023 na área experimental do Centro de Pesquisa CPA em Rio Verde - GO, com coordenadas geográficas aproximadas 17° 47' 07'' S de latitude e 51° 00' 14'' W de longitude e 750 m de altitude. O clima predominante da região é definido como tropical úmido, com estação chuvosa no verão e estação seca no inverno. A precipitação média anual é de 1.293 mm, com temperatura média anual de, aproximadamente, 23°C e umidade relativa do ar média anual de 70%.



Figura 1. Localização, coordenadas geográficas e altitude do ensaio conduzido no Centro de Pesquisa Agropecuária em Rio Verde - GO, safra 2022-2023.

O solo predominante da área experimental, conforme a nova denominação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos Embrapa (2013), é classificado como Latossolo Vermelho de textura argilosa. O teor de fósforo (P) no solo foi determinado na camada de 0-20 cm segundo a metodologia proposta pela Embrapa (2004). O valor encontrado foi de 9,0 mg dm⁻³, considerado inadequado segundo Sousa et al. (2014).

Prof.	pH	M.O.	C Orgânico	P Mehlich	m	V	CTC efetiva	CTC potencial		
cm	CaCl ₂	----- g.dm ⁻³ -----		mg.dm ⁻³	----- % -----		----- cmol _c .dm ⁻³ -----			
0-20	5,4	34,6	20,1	9	0,6	69,4	5,2	3,6		
Prof.	S	K	Ca	Mg	Al	H+Al	Cu	Fe		
cm	mg.dm ⁻³		----- cmol _c .dm ⁻³ -----				----- mg.dm ⁻³ -----			
0-20	ns	0,17	2,43	1	0,02	1,5	ns	ns		
Prof.	Mn	Zn	K	Ca	Mg	Ca/K	Mg/K	Argila	Silte	Areia
cm	----- mg.dm ⁻³ -----		----- % -----					----- g.kg ⁻¹ -----		
0-20	ns	ns	3,7	46,7	19,4	14,3	5,9	370	170	460

Tabela 1. Análise de solo na profundidade de 0-20 cm coletado antes da instalação do experimento, Rio Verde - GO, safra 2022-2023.

O período chuvoso da região se estende de outubro a fevereiro, enquanto os meses de março a maio apresentam pouca precipitação. O período mais seco ocorre de junho a agosto.

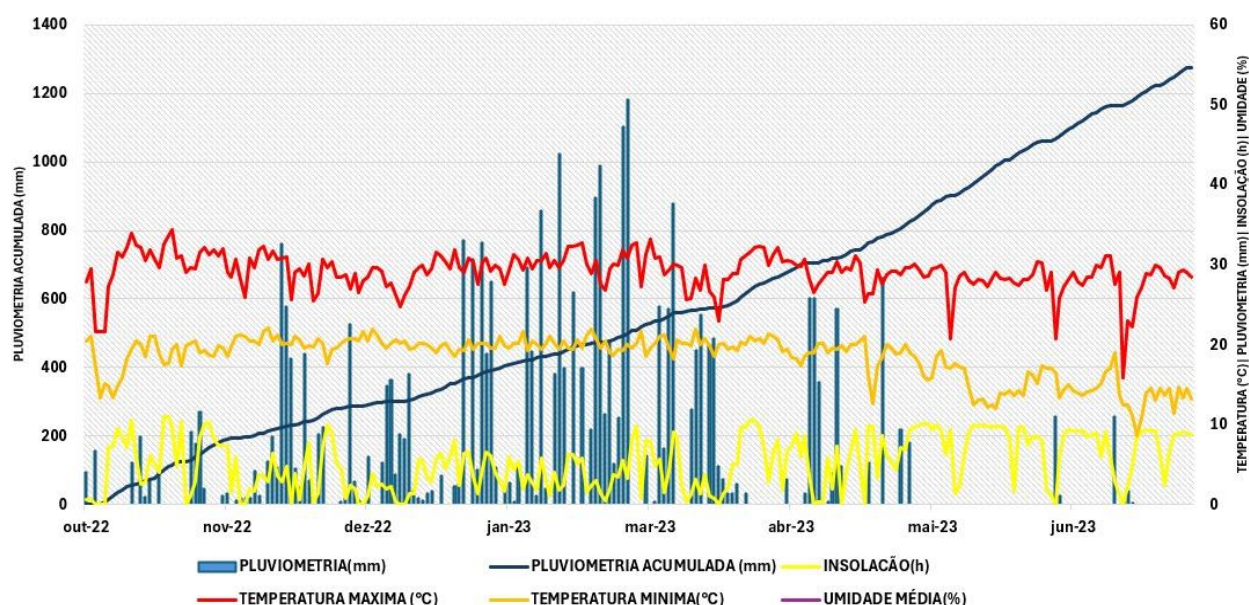


Figura 2. Pluviometria diária e acumulada, temperatura máxima e mínima, umidade relativa e insolação obtidas na estação meteorológica automática em Rio Verde - GO, safra 2022-2023.

O manejo de correção do solo padrão da estação foi feito 60 dias antes da instalação do experimento. Foram aplicados 2,0 t ha⁻¹ de gesso agrícola, 1,8 t ha⁻¹ de calcário dolomítico, 200 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio e, aos 14 dias da emergência, 150 kg ha⁻¹ de ureia granulada. Todos os nutrientes

foram aplicados com distribuidor de adubos a lança. Todos os corretivos foram feitos com auxílio de implementos da estação de pesquisa. A dessecação da área ocorreu com a aplicação de glifosato 2,5 L ha⁻¹, Reglone 2,0 L ha⁻¹, e Dual Gold 1,3 L ha⁻¹.

A semeadura foi feita em 10/12/2022, utilizando um sistema de plantio direto (SPD) com uma semeadora Jumil de 5 linhas, espaçadas de 0,5 m. Foram depositadas 3 sementes por metro linear, mantendo o sulco de plantio aberto. O híbrido utilizado no experimento foi o P3707 VYH, com emergência observada em 15/12/2022 e colheita feita no dia 10/05/2023. Esse híbrido escolhido tem ciclo precoce e grãos classificados como semidentados, coloração amarelo-alaranjada. A tecnologia VYH oferece proteção às lagartas, incluindo lagarta-do-cartucho, lagarta-elasma, lagarta-do-trigo, broca-da-cana-de-açúcar, lagarta-eridania, lagarta-da-espiga e lagarta-roscas, por ser composta de três proteínas inseticidas (Cry1F, Cry1Ab e Vip3Aa20). Os tratos culturais seguiram as recomendações para a cultura. Aos 7 dias da emergência do milho, foi aplicado Magnum 1,0 L ha⁻¹ para controle de cigarrinha e do percevejo barriga verde. Aos 14 dias de emergência, foram aplicados os produtos Talisman 0,600 L ha⁻¹, Priori 0,250 L ha⁻¹, Intrepid 0,200 L ha⁻¹ e sulfato de magnésio 0,500 kg ha⁻¹ para controle de doenças e pragas. A última aplicação ocorreu aos 40 dias após a emergência, utilizando os produtos Curyon 0,800 L ha⁻¹, Priori Extra 0,300 L ha⁻¹, Score Flex 0,200 L ha⁻¹ e sulfato de magnésio 0,500 kg ha⁻¹. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 3 x 4, sendo 2 fertilizantes e ausência de fertilizante fosfatado (Controle, fosfato natural e superfosfato triplo), 3 solublizadores de fosfatos e ausência (Controle, Omsugo, HPAR12/HPAR26 e Biomega) com quatro repetições, totalizando 48 unidades amostrais. Cada parcela experimental consistiu em cinco linhas de 5,0 metros de comprimento com espaçamento de 0,5 metros, ocupando uma área total de 12,5 m² (5,0 m x 0,5 m x 5,0 linhas).

Os tratamentos avaliados neste estudo incluíram solubilizadores de fosfatos aplicados com adubação, utilizando fosfato natural ou superfosfato triplo (Tabela 2).

Tabela 2. Tratamentos, fontes de fósforo (P), solubilizadores e suas respectivas doses utilizadas no presente estudo.

Trat.	Fonte de P	Solubilizador	Dose (kg ou L ha ⁻¹)
1	Controle	Controle	-
2		Omsugo	0,2
3		HPAR12/HPAR26	0,2
4		Biomega	5
5	Fosfato Natural	Controle	500
6		Omsugo	500 + 0,2
7		HPAR12/HPAR26	500 + 0,2
8		Biomega	500 + 5
9	Superfosfato Triplo	Controle	260,8
10		Omsugo	260,8 + 0,2
11		HPAR12/HPAR26	260,8 + 0,2
12		Biomega	260,8 + 5

Os tratamentos foram constituídos por fontes de fósforo e solubilizadores. As fontes de fósforo utilizadas no estudo foram: controle (sem adubação), fertilizante mineral SFT solúvel em água constituído por (46% de P₂O₅) e fosfato natural reativo PHOSACTIV, constituído por 27% de P₂O₅ + 32% de Ca, tendo estes fertilizantes sido cedidos pela empresa OCP Brasil fertilizantes. Os solubilizadores utilizados foram: controle (sem aplicação de solubilizador), Omsugo (4x10⁹ de células viáveis), constituído pelos microrganismos *Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*; Biomega (1x10⁸ UFC/ml), constituído pelo microrganismo *Bacillus megaterium*, sendo estes produtos comerciais registrados no mercado; e o HPAR12/HPAR26, constituído pelos microrganismos *Lysinibacillus fusiformis* e *Paenibacillus alvei*, que foi cedido pelo laboratório de Microbiologia do Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, estando esse produto em fase de estudo pelo laboratório, tendo este projeto como contribuição de resultados de pesquisa.

Todos os produtos foram aplicados manualmente após a semeadura do milho. Os fertilizantes

foram anteriormente pesados e adicionados em saquinhos conforme o peso de cada parcela. Em seguida, foram aplicados a lanço nas parcelas, com doses de 500 kg ha⁻¹ de fosfato natural e de 260,8 kg ha⁻¹ de superfosfato triplo. A aplicação dos solubilizadores ocorreu no final do dia, quando a radiação solar era baixa. Os solubilizadores Omsugo 0,2 L. ha⁻¹, HPAR12/HPAR26 0,2 L ha⁻¹ e Biomega 5 L ha⁻¹ foram aplicados com o uso de um pulverizador costal à base de CO₂, equipado com bico de jato dirigido, resultando num volume de vazão de calda de 40 L ha⁻¹. Após a aplicação dos fertilizantes e solubilizadores, as linhas de plantio foram fechadas manualmente, o que levou aproximadamente 32 minutos. Todas as etapas da instalação do experimento foram conduzidas no mesmo dia, com solo úmido, tempo parcialmente aberto, temperatura de 28 °C.

Para a avaliação nutricional da cultura, foi medido o teor de fósforo (P) nas folhas abaixo da espiga. A coleta foi feita após o aparecimento da inflorescência feminina (cabelo), com a coletada de 30 folhas por parcela na fase R1, seguindo a metodologia da Embrapa Cerrado (EMBRAPA, 2000).

Para avaliar a eficiência dos produtos, foram feitas medições biométricas, incluindo o diâmetro de colmo na fase R6 da pré-colheita. O diâmetro foi medido com um paquímetro 30 cm acima do solo em 5 plantas escolhidas aleatoriamente por parcela, e os valores expressos em milímetros.

A altura de planta na fase R6 da pré-colheita foi medida com uma régua métrica, desde o solo até o ápice da planta. Essa medição foi feita em 5 plantas aleatoriamente por parcela, com os resultados expressos em metros.

A altura de inserção de espiga na fase R6 da pré-colheita foi feita com o auxílio de uma régua métrica, sendo mensurada da altura do solo até a inserção da primeira espiga. Essa medição foi feita em 5 plantas aleatoriamente por parcela, com os resultados expressos em metros.

O número de fileiras por espiga, número de grãos por fileiras e número total de grãos por espiga foram determinados por contagem manual. Esses dados foram registrados numericamente para 5 espigas por parcela. A avaliação foi feita no dia seguinte à colheita, que ocorreu em 10/05/2023, durante a fase R6 da cultura.

Para as avaliações produtivas, foram coletadas 20 espigas por parcela na fase R6, em que

umidade estava em 14,5%, na sequência, foram trilhadas com auxílio de uma trilhadeira de milho a diesel, feito o peso de mil grão e a contagem de 1000 grãos por parcela, posteriormente pesados com auxílio de uma balança de precisão. As medidas foram expressas em gramas e a produtividade por hectare foi corrigida para 13% de umidade, as medidas foram expressas em kg ha⁻¹. Para chegar ao resultado em kg ha⁻¹, primeiramente foi corrigido o peso pela da fórmula = $((100 - U\%) / (87)) * \text{Peso}$. Com o valor do peso corrigido, ele foi transformado em kg ha⁻¹ pela da fórmula = $(60000 * \text{peso corrigido}) / \text{número de espigas coletadas}$.

Após a colheita, foi avaliado o teor de fósforo (P) no solo. Para isso, foi coletada uma amostra composta por 5 pontos de coleta em uma área de 12,5 m² por parcela, utilizando um trado holandês para amostragem na profundidade de 0-20 cm.

Para interpretação de dados, foi feita a análise de variância (ANOVA), utilizando o teste F com 5% de probabilidade. Para os resultados significativos, foi feito o teste de comparação de médias de Tukey. A análise estatística foi conduzida com o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que houve interação significativa entre o uso de solubilizadores de fosfatos e as diferentes fontes de P nas variáveis número de grãos por fileira, peso de mil grãos e produtividade. Para os fatores isolados de adubação e solubilizador, foi observada diferença significativa na produtividade. No entanto, não foram observados efeitos significativos nas demais variáveis analisadas (Tabela 3).

Na avaliação dos efeitos dos tratamentos na variável teor de fósforo (P) no solo, a interação foi significativa (fontes de fósforo x solubilizadores de fosfato), porém não foi observado efeito dos tratamentos no teor foliar de P (Tabela 3).

Tabela 3. Resumo da ANOVA para as avaliações de diâmetro de colmo (DC), altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira espiga (AIE), número de grãos por fileira (NGF), número de fileiras (NF), número de grãos por espiga (NGE), peso de mil grãos (PMG), produtividade (PROD), teor de P foliar (PF) e teor de P no solo (OS), em função do uso de solubilizadores de P x fontes de P no milho cultivado em primeira safra em condições de campo, em Rio Verde, Goiás, na safra 2022/2023.

Fontes de Variação	DC	AP	AIE	NGF	NF	NGE	PMG	PROD	PF	PS
	mm	m	m	n°	n°	n°	G	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹	mg kg ⁻¹
Solubilizador (S)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
Fontes de P (F)	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	**	ns	**
S x F	ns	ns	ns	*	ns	ns	**	**	ns	**
CV (%)	37,2	8,7	17,6	9,6	37,2	8,7	17,6	9,6	37,2	8,7

ns – não significativo pelo teste F; * significativo pelo teste F a nível de 5% de probabilidade; ** significativo pelo teste F a nível de 1% de probabilidade.

Quanto aos caracteres biométricos expressados na Tabela 4, observa-se que os fatores avaliados (solubilizadores de P, fontes de P e a interação entre estes fatores) não influenciaram os resultados de diâmetro de colmo e altura de plantas do milho cultivado em primeira safra no Cerrado Goiano. A Tabela 4 mostra as médias obtidas no estudo.

Tabela 4. Diâmetro de colmo e altura de plantas, em função do uso de solubilizadores de fósforo x fontes de fósforo, no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições.

Solubilizador P	Diâmetro de colmo (mm)				Altura de plantas (m)			
	Fontes de P							
	Controle	Fosfato	Superfosfato	Média	Controle	Fosfato	Superfosfato	Média
		Natural	Triplo			Natural	Triplo	
Controle	22,99	22,55	23,09	22,75	2,75	2,67	2,67	2,72
Omsugo	22,28	24,24	23,96	23,48	2,72	2,76	2,74	2,74
HPAR12/HPAR26	22,99	22,61	23,58	23,26	2,69	2,74	2,76	2,73
Biomega	22,28	24,13	23,94	23,68	2,72	2,76	2,72	2,73
Média	22,86	23,37	23,64		2,72	2,73	2,72	

Os resultados obtidos por Brito et al. (2022) confirmam o presente estudo, tendo os autores verificado que a utilização de solubilizadores de fosfatos não promoveu alterações no diâmetro de colmo e na cultura do milho. No entanto, observaram que o superfosfato triplo, na ausência dos solubilizadores de P, proporcionou maior diâmetro de colmo, o que é contraditório com os resultados deste estudo. Por outro lado, Yadav et al. (2017) observaram em seu estudo que a utilização de solubilizadores foi eficiente em relação ao crescimento de plantas de milho.

Segundo Jardini et al. (2024), os solubilizadores de P (*Bacillus subtilis* e *Bacillus megaterium*) utilizados no tratamento de sementes de milho, não proporcionaram incremento na altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga e no diâmetro de colmo. Os autores alegam que a ineficiência dos

solubilizadores de P pode estar relacionada ao fato de o teor de P ($30,52 \text{ mg dm}^{-3}$) no solo (<15% de argila) não ser adequado (SOUSA; LOBATO, 2004). No entanto, Fagotti (2023) observou que em solos com baixo teor fósforo (P) o desempenho dos solubilizadores de P pode ser limitado, uma vez que esses microorganismos necessitam do nutriente para realizar suas atividades metabólicas e, posteriormente, promover o crescimento das plantas (YADAV, 2022).

Assim, vale ressaltar que o teor de fósforo (P) no presente estudo é inadequado, segundo Sousa e Lobato et al. (2024). Essa é uma possível hipótese para a falta de desempenho dos solubilizadores P testados neste estudo. Além disso, Fagotti (2023) observou que, em solos com teores de fósforo acima do nível crítico, os solubilizadores de P também apresentam baixa eficiência em relação ao incremento da produtividade. O autor conclui que, para obter um aumento nas características avaliadas, seria necessário um teor mínimo de fósforo (P) no solo, sem ultrapassar o nível crítico.

A altura de inserção de espiga variou de 1,15 a 1,27 m. Repke et al. (2012) observaram que a uniformidade e a altura da primeira espiga, como um ponto de inserção mais alto, facilitam a regulação durante a colheita de forma positiva. Marchão et al. (2015) ressaltam que a altura desejável de inserção da espiga é acima de 1,0 m. Portanto, as alturas de inserção obtidas nos tratamentos estudados estão dentro das recomendações para uma melhor performance da cultura.

Os fatores estudados (solubilizadores de P x fontes de P e a interação entre estes fatores) não influenciaram na altura de inserção da primeira espiga e no teor de fósforo foliar na cultura do milho cultivado em primeira safra no Cerrado Goiano (Tabela 5).

Tabela 5. Altura de inserção de espiga e teor de fósforo foliar, em função do uso de solubilizadores de fósforo x fontes de fósforo, no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições.

Solubilizador P	Altura de inserção de espiga (m)				Fósforo Foliar (g kg ⁻¹)			
	Fontes de P							
	Controle	Fosfato Natural	Superfosfato Triplo	Média	Controle	Fosfato Natural	Superfosfato Triplo	Média
Controle	1,22	1,21	1,21	1,21	2,06	2,5	2,62	2,39
Omsugo	1,19	1,24	1,23	1,22	2,63	2,55	2,39	2,52
HPAR12/HPAR26	1,18	1,15	1,27	1,20	2,71	2,47	2,44	2,54
Biomega	1,19	1,22	1,24	1,22	2,48	2,51	2,37	2,45
Média	1,19	1,21	1,24		2,47	2,51	2,45	

De acordo com Sarikhani et al. (2019), a utilização de solubilizadores de P influenciou significativamente a concentração e a absorção de fósforo (P) na parte aérea na cultura do milho. Os resultados obtidos para o fósforo (P) foliar ficaram dentro da faixa de referência para o milho (1,8 – 3,00 g kg⁻¹) (OLIVEIRA, 2002). Entretanto, estudo conduzido por Teixeira (2023) com o híbrido SYN455 VIP3 em uma região de 813 m de altitude com clima tropical úmido em um solo com teor de fósforo (P) de 31 mg dm⁻³ mostrou que os (BSP) (*Bacillus amyloliquafaciens*, *Bacillus licheniformis* e *Bacillus subtilis*) não influenciaram no teor fósforo (P) foliar, confirmando os resultados do presente estudo.

Quanto aos caracteres produtivos, expressos na Tabela 6, observa-se que os fatores avaliados (solubilizadores de P x fontes de P e a interação entre estes fatores) não influenciaram os resultados do número de fileiras por espiga e do número de grãos por espiga no milho cultivado em primeira safra no Cerrado goiano. As médias estão mostradas na Tabela 6. Trabalhos conduzidos por Valderrama et al. (2021) com doses crescentes de fósforo (P) apresentaram resultados semelhantes, considerando que o número de fileiras por espiga e o número de grãos por espiga não foram afetados pelas doses dos

nutrientes aplicados.

Tabela 6. Número de fileiras e número de grãos por espiga, em função do uso de solubilizadores de fósforo x fontes de fósforo, no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições.

Solubilizador P	Número de Fileiras (n°)				Número de grãos por espiga (n°)			
	Fontes de P							
	Controle	Fosfato	Superfosfato	Média	Controle	Fosfato	Superfosfato	Média
		Natural	Triplo			Natural	Triplo	
Controle	17,5	16,5	17,5	17,16	634,0	623,0	648,1	635,0
Omsugo	16,5	17,0	17,5	17,10	602,5	623,2	651,2	627,8
HPAR12/HPAR26	17,5	16,5	16,5	16,83	647,0	635,0	619,5	633,8
Biomega	17,5	17,1	17,5	17,33	721,5	599,8	644,0	654,8
Média	17,2	16,7	17,2		651,2	621,0	640,6	

Com relação ao número de grãos por fileiras (NGF), nota-se que as aplicações de solubilizadores apresentaram significância apenas para o controle (sem aplicação P), que obteve o maior número de grãos por fileira quando foi aplicado o solubilizador Biomega. No entanto, ao analisar fontes de fósforo (P), observa-se que houve diferença estatística apenas no tratamento com o solubilizador de fósforo Biomega. Neste caso, o tratamento controle (sem aplicação de P) foi superior aos demais (Figura 3).

Os resultados mostraram interação entre o uso de solubilizadores de fósforo (P) e as diferentes fontes de P nas variáveis número de grãos por fileira, peso de mil grãos e produtividade.

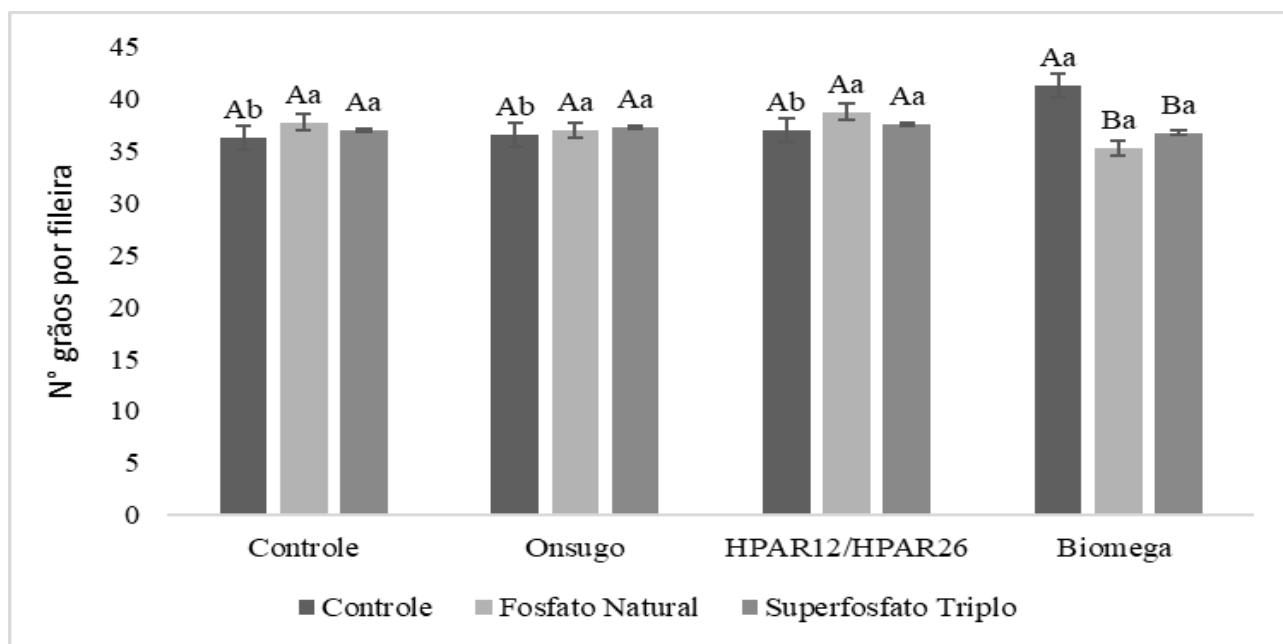


Figura 3. Número de grãos por fileiras em função do uso de solubilizadores de fósforo associados a fontes de fósforo no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições. Letras maiúsculas comparam as fontes de fósforo, dentro de cada solubilizador, e letras minúsculas comparam os solubilizadores de fósforo, dentro de cada fonte de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Para o fator solubilizadores de P dentro de cada fonte de fósforo (P), observou-se que os solubilizadores Onsugo, HPAR12/HPAR26 e Biomega apresentaram maiores valores de peso de mil grãos em comparação com o controle (sem aplicação de P). No entanto, ao utilizar como fontes de fósforo, fosfato natural e superfosfato triplo, não foram observadas diferenças entre os solubilizadores de fósforo (Figura 4).

A Figura 4 mostra que no tratamento controle (sem aplicação de solubilizadores de P) a adição de fosfato natural ou superfosfato triplo promoveu incremento no peso de mil grãos.

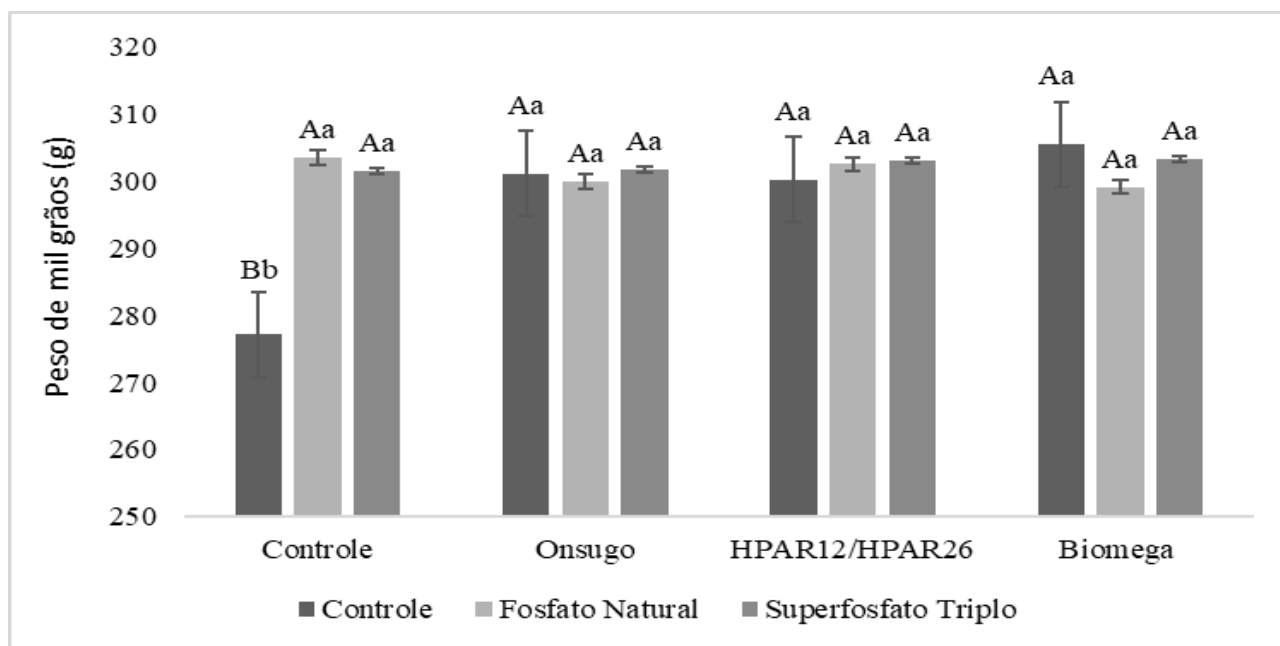


Figura 4. Peso de mil grãos em função do uso de solubilizadores de fósforo associados a fontes de fósforo no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições. Letras maiúsculas comparam as fontes de fósforo, dentro de cada solubilizador, e letras minúsculas comparam os solubilizadores de fósforo, dentro de cada fonte de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A Figura 5 mostra que no tratamento controle (sem aplicação de P) o solubilizador Biomega foi superior estatisticamente aos solubilizadores HPAR12/HPAR26 e Controle (sem aplicação de solubilizadores de P). No entanto, quando utilizado o fosfato natural, o solubilizador Biomega foi estatisticamente inferior ao solubilizador HPAR12/HPAR26. Esses microrganismos do solo podem atuar diretamente na solubilização do fósforo (P) e na liberação de fosfatos solúveis por meio da ação quelante sobre cátions (KALAYU, 2019).

A utilização do adubo superfosfato triplo promoveu um incremento na produtividade, que foi estatisticamente diferente em relação ao tratamento controle (sem aplicação de P), com 9069,0 kg ha⁻¹ contra 7548,2 kg ha⁻¹. Esse incremento foi de 1520,8 kg ha⁻¹, sem a utilização de solubilizadores de fósforo (Figura 5). Segundo Paiva et al. (2017), o superfosfato triplo tem liberação de fósforo mais rápida em comparação com o fosfato natural. Este fato foi confirmado pelo presente estudo, que

observou maior produtividade com o uso do superfosfato triplo em combinação com os solubilizadores Omsugo e Biomega. Por outro lado, os autores ressaltam que os (BSP) têm como objetivo maximizar a absorção de fósforo (P) na cultura do milho, por meio de diversos mecanismos.

A utilização de solubilizadores de P aprimora a aquisição de fósforo nos estágios iniciais de crescimento ao promover o aumento do sistema radicular e da atividade de solubilização de fósforo na rizosfera. Isso resulta em uma eficiência aprimorada na absorção de fertilizantes fosfatados e de formas anteriormente indisponíveis desse nutriente no ambiente radicular (MAHANTA et al., 2018; SOUSA et al., 2020). Esse processo promove maior vitalidade e um crescimento inicial mais robusto, culminando em uma absorção ampliada de fósforo e, conseqüentemente, em rendimentos mais elevados (FRANDOLOSO et al., 2004).

Pesquisas envolvendo inoculantes com microrganismos solubilizadores de fosfato (MSP) em diversos países indicam que esses solubilizadores podem reduzir a aplicação de fertilizantes fosfatados em torno de 33 a 50%. Isso ocorre pela inoculação de MSP nas sementes de milho, soja e arroz, conforme evidenciado em estudos de Araújo et al. (2020), Mahanta et al. (2018) e Granada et al. (2018).

Além dos acréscimos de produtividade observados em áreas de cultivo comercial e em ensaios experimentais, pesquisas conduzidas pela Embrapa revelaram aumentos significativos de, aproximadamente, 19% na exportação de fósforo para os grãos e ganho médio de produtividade de milho de 8,9% (OLIVEIRA et al., 2020; SOUSA et al., 2020).

Richart et al. (2006) e Nunes et al. (2011) conduziram estudos comparativos entre diversas fontes de fósforo e constataram que a produtividade foi semelhante tanto com o uso de fontes fosfatadas solúveis quanto com fontes naturais reativas. No entanto, pesquisas conduzidas por Oliveira Junior et al. (2008), Fontoura et al. (2010) e Frandoloso et al. (2010) apontaram para uma produtividade inferior quando foi utilizado fósforo de fontes naturais reativas em comparação com fontes fosfatadas solúveis.

Pesquisa conduzida por Amanullah e Khan (2015) constatou que as bactérias solubilizadoras tiveram impacto na produção de milho quando ele foi fertilizado com composto orgânico e fósforo. Da

mesma forma, Almeida et al. (2016) identificaram efeito dos microrganismos solubilizadores na solubilização do fosfato de Araxá, quando combinado com cama de frango.

Trabalhos desenvolvidos pela Embrapa com o uso de inoculantes à base de (BSP), conduzidos em diversos estados brasileiros nas safras 2018/2019 e 2019/2020 no sistema de sucessão soja-milho, mostraram ganhos de produtividade e incrementos significativos, o que possivelmente levou a maiores ganhos de produtividade (OLIVEIRA et al., 2020; SOUSA et al., 2020).

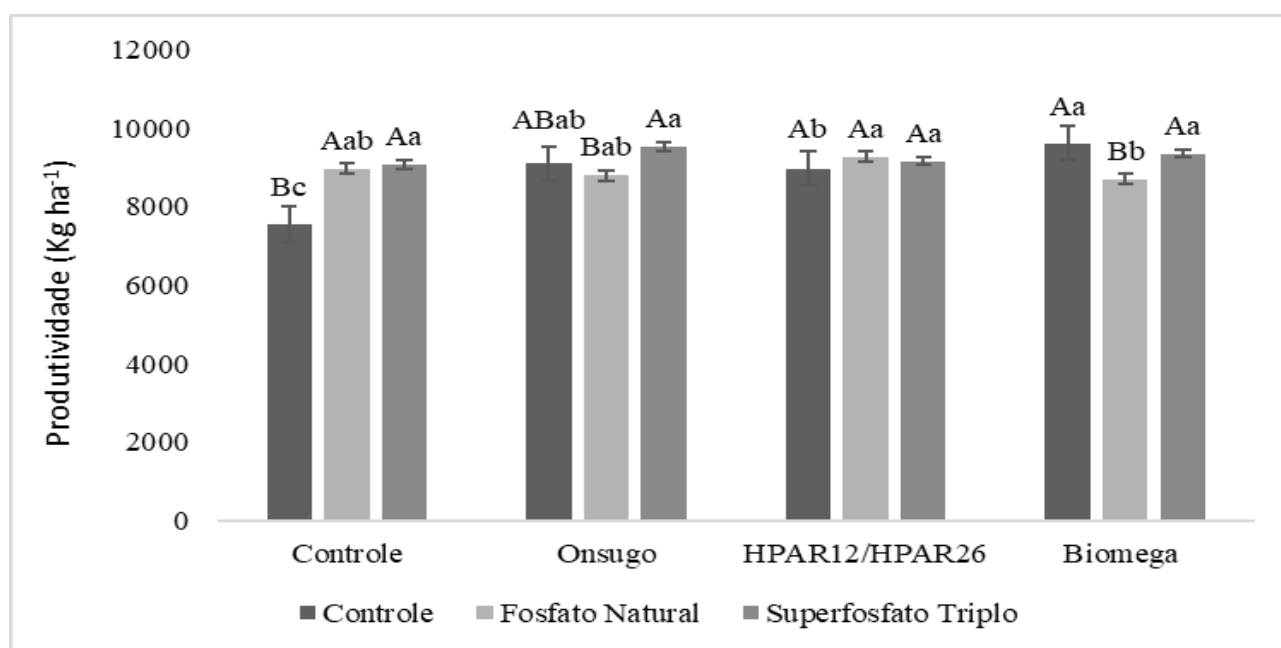


Figura 5. Produtividade em função do uso de solubilizadores de fósforo associados a fontes de fósforo no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições. Letras maiúsculas comparam as fontes de fósforo, dentro de cada solubilizador e letras minúsculas comparam os solubilizadores de fósforo, dentro de cada fonte de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Na avaliação do efeito dos solubilizadores dentro de cada fonte de fósforo, podemos observar que no controle para aplicação de fósforo (sem aplicação de fósforo), todos os solubilizadores apresentaram teor de fósforo no solo superior ao tratamento sem solubilizador. Nas parcelas onde foi utilizado o fosfato natural, os solubilizadores não diferiram entre si. Já nas parcelas que receberam o superfosfato

triplo, a adição do Biomega elevou o teor de fósforo no solo em relação a todos os outros solubilizadores, tendo o resultado do Omsugo sido superior ao obtido no controle (Figura 6).

O tratamento controle (sem adubação) mostrou a eficiência e a eficácia dos solubilizadores, tendo em vista que somente o tratamento com ausência de solubilizadores diferiu estatisticamente dos demais, sendo $4,4 \text{ mg dm}^{-3}$ contra $12,8 \text{ mg dm}^{-3}$, ou seja, houve incremento em torno de 34,2%, quando foram utilizados solubilizadores de fósforo (Figura 6).

Estudos têm demonstrado que o uso de inoculantes contendo bactérias solubilizadoras de fosfato aumentam significativamente o fósforo (P) disponível e sua absorção pelas plantas (IRSHAD et al., 2012; OWEN et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2020). Estes microrganismos têm grande capacidade de atuar diretamente na solubilização do fósforo presente nos solos brasileiros.

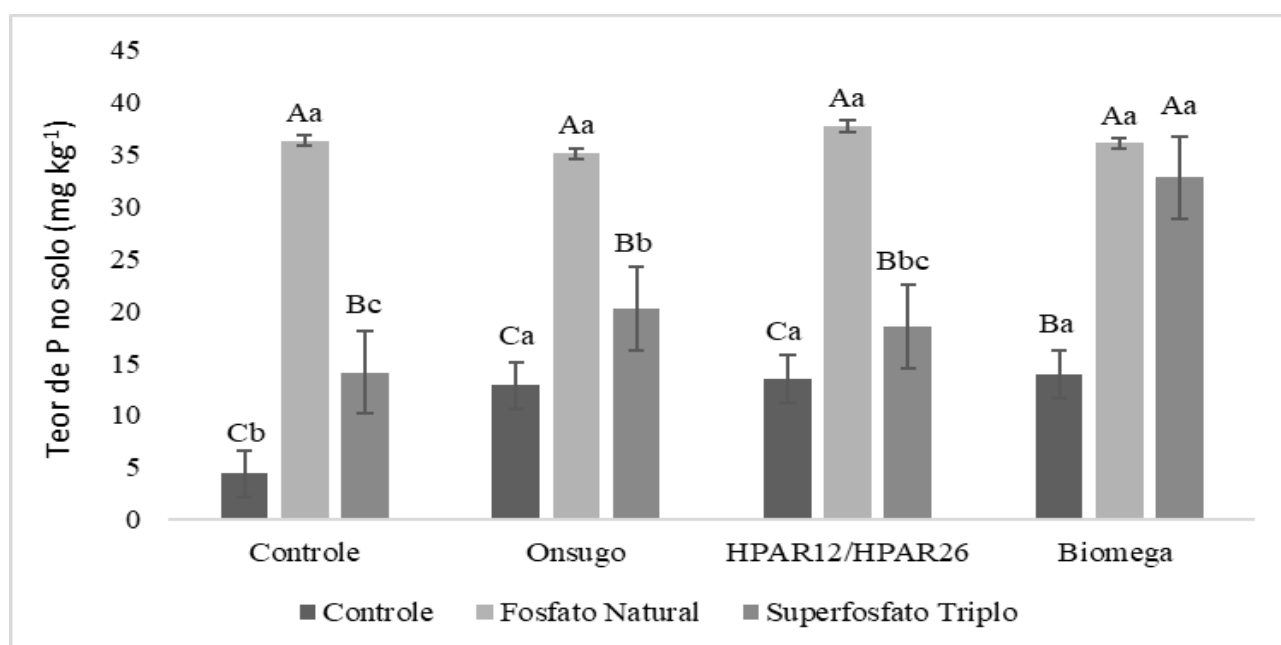


Figura 6. Teor de P no solo (mg kg^{-1}) em função do uso de solubilizadores de fósforo associados a fontes de fósforo no milho cultivado em primeira safra em condições de campo em Rio Verde – GO, na safra 2022/2023. Médias de quatro repetições. Letras maiúsculas comparam as fontes de fósforo, dentro de cada solubilizador, e letras minúsculas comparam os solubilizadores de fósforo, dentro de cada fonte de fósforo. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5. CONCLUSÃO

As fontes nem os solubilizadores de fósforo influenciaram os parâmetros biométricos diâmetro de colmo, altura de plantas, altura de inserção da primeira espiga, número de fileiras e número de grãos por espiga.

O uso de solubilizadores promoveu incremento de produtividade em relação ao tratamento controle, por outro lado, o trabalho mostrou que a adubação com superfosfato triplo é mais eficiente quando comparada com o fosfato natural.

O teor de fósforo (P) (mg kg^{-1}) presente no solo foi influenciado pela utilização de solubilizadores, tendo sido observado que no tratamento sem adição de fósforo via fertilizantes ocorreu aumento de P no solo somente com a utilização dos microrganismos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, C. N. S., F. C. dos Santos., I. E. Marriel., E. A. Gomes., A. Freitas., C. A. de Paiva. 2016.** Adubação organomineral em associação com microrganismos solubilizadores de fósforo no milheto. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 38 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 147).
- Alori, E. T., B. R. Glick., O. Babalola. 2017.** O. Microbial phosphorus solubilization and its potential for use in sustainable agriculture. *Front. Microbiol.* 8, 971.
- Amanullah & A. Khan. 2015.** Phosphorus and compost management influence maize (*Zea mays*) productivity under semiarid condition with and without phosphate solubilizing bacteria. *Frontiers in Plant Science*, v. 6, art. 1083.
- Araújo, F. H. V., R. S. Cruz., D. W. B. Porto., C. M. M. Machado., A. C. França. 2020.** Effects of mycorrhizal association and phosphate fertilization on the initial growth of coffee plants. *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 50, e 58646.
- Brito, L. E. M., A. L. A. Resende., C. O. C. Silva., H. D. Silva., C.D. R. Silva., J. H. S. Luz. 2022.** Desenvolvimento e nutrição inicial do milho com inoculação do Biomaphos[®] associado a fontes fosfatadas. *Revista Agri-Environmental Sciences*, v. 8.
- Cattelan, A. J., P. G. Hartel.** Traits associated with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). In: *Tópicos em ciência do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, v. 1, 2000.
- Da Silva, C. D. R., J. H. S. Luz., J. G. Andrade., H. P. Oliveira., A. F. C. Junior., S. C. Siebenechler. 2022.** Inoculação de bactérias solubilizadores de fosfato no milho: reduzir ou não a adubação fosfatada? Insight dos primeiros estádios vegetativos. *Revista Agri-Environmental Sciences*, v. 8, Ed. Especial.
- EMBRAPA SOLOS. 2000.** Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos / Ciriaca Arcangela Ferreira de Santana do Carmo ... [et al.]. - Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 41 p. – (Embrapa Solos. Circular Técnica; 6).
- Fagotti, L.A. 2023.** Bactérias solubilizadoras de fósforo na cultura do milho (*Zea mays*) em solos com baixo e alto teor de fósforo. 2023. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
- Ferreira, D. F. 2011.** Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.
- Fontoura, S. M. V.; R. C. B. Vieira., C. Bayer., P. R. Ernani., R. P. De Moraes. 2010.** Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 34, n. 6, p.1907-1914.
- Franceloso, J. F., M. Do C. Lana., S. Fontaniva., R. V. Czycza., 2010.** Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. *Revista Ceres*, v. 57, n. 5, p. 686-694.

Granada, C. E., L. M. P. Passaglia., E. M. De Souza., R. A. Sperotto. 2018. Is phosphate solubilization the forgotten child of plant growth-promoting rhizobacteria? *Frontiers in Microbiology*, v. 9, p. 1-4.

Ikhajjiagbe, B., G. O. Anoliefo., O. F. Olise., F. Rackelmann., M. Sommer., I. J. Adekunle. 2020 Major phosphorus in soils is unavailable, yet critical for plant development. *Notulae Scientia Biologicae*, v. 12, n. 3, p. 500-535.

Irshad, U., C. Villenave., A. Brauman., C. Plassard. 2012. Phosphorus acquisition from phytate depends on efficient bacterial grazing, irrespective of the mycorrhizal status of *Pinus pinaster*. *Plant and Soil*, v. 321, p. 213-233.

Jardini, D. C., I. T. Souza Júnior., C. E. S. Beserra., D. S. Caporossi., L. V. S. Ruiz., M. F. Senra. 2024. Desenvolvimento e produtividade da cultura de milho em função de doses de fósforo associado a microrganismos solubilizadores de fosfatos, *Connectionline*, n. 31.

Kalayu, G. 2019. Phosphate solubilizing microorganisms: promising approach as biofertilizers. *International Journal of Agronomy*, v. 2019, ID4917256.

Kiehl, E. J. 2013. Fertilizantes Organominerais. 5 ed, Editora Degaspari, Piracicaba.

Kour, D., K. L. Rana., T. Kaur., N. Yadav., E. N. Yadav., M. Kamar., V. Kumar., H. S. Dhaliwal., A. K. Saxenas. 2021. Biodiversity, current developments and potential biotechnological applications of phosphorus solubilizing and mobilizing microbes: a review. *Soil Science Society of China*.

Li, H., Q. Han., Q. Liu., Y. Gan., C. Rensing., W. Riviera., Q. Zhao., J. Zang. 2023. Roles of phosphate-solubilizing bacteria in mediating soil legacy phosphorus availability. *Microbiological research*.

Liang, J. L., J. Liu., P. Jia., T. T. Yang., Q. W. Zeng., S. C. Zhang., B. Liao., W. S. Shu., J. T. Li. 2020. Novel phosphate-solubilizing bacteria enhance soil phosphorus cycling following ecological restoration of land degraded by mining. *ISME J.* v. 14, p. 1600–1613, 1995.

Marschner, H. The soil-root interface (rhizosphere) in relation to mineral nutrition. In: MASCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants, 2. University of Hohenheim, Germany. Academic Press, p. 537 – 594

Marchão, R. L., E. M. Brasil. J. B. Duarte., C. M. Guimarães., J. A. Gomes. 2015. Densidade de plantas e características agronômicas de híbridos de milho sob espaçamento reduzido entre linhas. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v.3(2), p.93-101.

Manjula, K. & A. R. Podile. 2006. Increase in Seedling Emergence and Dry Weight of Pigeon Pea in the Field with Chitin - Supplemented Formulations of *Bacillus subtilis* AF 1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21 (7), 1057–1062.

Mahanta, D., R. K. Raia., S. Dhara., E. Varghese., A. Rajab., T. J. Purakayasthaa. 2018. Modification of root properties with phosphate solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhiza to reduce rock phosphate application in soybean wheat cropping system. *Ecological Engineering*, v. 111, p. 31-43.

Martins, M. M. 2019. Substâncias húmicas como aditivos para melhorar a eficiência de fosfatos solúveis e reativos. 70 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de 45 Engenharia Agrônômica, Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2019. Cap. 4.

Matias, G. C. S. 2010. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados em solos com diferentes capacidades de adsorção de P e teores de matéria orgânica. 174 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

Miranda, T. M. 2022. Aplicação foliar de Biomaphos em milho safrinha [Trabalho de Conclusão de Curso] Instituto Federal Goiano, Campus Ceres.

Nahas, E., J. F. Centurion., L. C. Assis. 1994. Microrganismos solubilizadores de fosfato e produtores de fosfatases de vários solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v.18, p.43-48.

Novais, R. T. & T. J. Smyth. 1999. P em solo e planta em condições tropicais. Viçosa: UFV, 399 p.

Nunes, R. S., D. M. G. Sousa., W. J. Goedert., L. Vivaldi. 2011. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 35, n. 3, p. 877-888.

Oliveira, S. A. 2002. Análise foliar. In: SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. (Eds.). Cerrado: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa Cerrados, p. 245-256.

Oliveira, C. A., I. E. Marriel., E. A. Gomes., L. V. Cota., F. C. Santos., S. M. Sousa., U. G. P. Lana., M. C. Oliveira., B. B. Mattos., V. M. C. Alves., V. P. Ribeiro., R. Vasco Junior. 2020. Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 18 p.

Oliveira, D. P., R. Camargo., E. M. Lemes., R. M. Q. Lana., A. L. I. A. Matos., M. L. M. Magela. 2017. Organic matter sources in the composition of pelletized organomineral fertilizers used in sorghum crops. African Journal of Agricultural Research, v. 12, n. 32, p. 2574-2581.

Oliveira Junior, A., L. I. Prochnow., D. Klepker. 2008. Eficiência agrônômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 43, n. 5, p. 623-631.

Paiva, C. A. O., F. C. Santos., I. E. Marriel., C. N. S. Almeida., E. A. Gomes., B. B. Mattos., A. M. A. Passos., M. R. Albuquerque Filho., P. C. Teixeira. 2017. Adubação fosfatada organomineral com pulverização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 236).

Patil, P. M., V. B. Kuligod., N. S. Hebsur., C. R. Patil., G. N. Kulkarni. 2012. Effect of phosphate solubilizing fungi and phosphorus levels on growth, yield and nutrient content in maize (*Zea mays*). Karnataka Journal Agriculture Science, v. 25, n. 1, p. 58-62.

Pavinato, P.S., A. Merlin., C. A. Rosolem. Phosphorus fractions in Brazilian Cerrado soils as affected by tillage. Soil and Tillage Research, Amsterdam, v. 105, p. 149-155, 2009.

Raij, B. V., H. Cantarella., J. A. Quaggio., A. M. C. Furlani. Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo. 2ªed. Campinas: IAC, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

Rajapaksha, R. M. C. P., D. Herath., A. P. Senanayake., M. G. T. L. Senevirathne Mobilization of rock phosphate phosphorus through bacterial inoculants to enhance growth and yield of wetland rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 42, p. 301-314, 2011.

Richardson, A. E. 2001. Prospects for using soli microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Victoria, v. 28 p. 897-906.

Richardson, A. E., J. M. Baréa., A. M. McNeill., C. Prigent-Combaret. Acquisition of phosphorus and nitrogen in the rhizosphere and plant growth promotion by microorganisms. *Plant and Soil*, v. 321, p. 305-339, 2009.

Richart, A., M. do C. Lana., L. R. Schulz., J. C. Bertoni., A. de L. Braccini., Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 30, n. 4, p. 695-705, 2006.

Rosa, E. F. F., C. N. Andrade., S. Luz., J. F. Kaseker., M. A. Nohatto., L. E. T. Nagel. Avaliação de interação entre bactérias solubilizadoras de fosfato e micorrizas, com doses de fósforo na cultura do milho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 23 n. 2, 2024

Royo, J. 2022. Fertilizante proveniente da mistura de composto orgânico e fontes minerais mantém a mesma produtividade dos adubos comerciais. 2010. Disponível em: <http://www.diadecampo.com.br/zpublisher/materias/Materia.asp?id=21891&secao=Agr_otemas>. Acesso em: 16 junho.

Sarikhani, M. R.; N. Nasser Aliasghar zad., B. Khoshru. P Solubilizing Potential of Some Plant Growth Promoting Bacteria Used as Ingredient in Phosphatic Biofertilizers with Emphasis on Growth Promotion of *Zea mays* L., *Geomicrobiology Journal*, 2019.

Sousa, S. M., C. A. Oliveira., D. L. Andrade., C. G. Carvalho., V. P. Ribeiro., M. M. Pastina., I. E. Marriel., U. G. de P. Lana., A. E. Gomes. Tropical *Bacillus* strains inoculation enhances maize root surface area, dry weight, nutrient uptake and grain yield. *Journal of Plant Growth Regulation*, v. 1, p. 1-11, 2020.

Silva, A. J. 2006. Efeito residual das adubações orgânica e mineral na cultura do gergelim (*Sesamum indicum*, L) em segundo ano de cultivo. 48f. Dissertação (Mestrado em Manejo de solo e água) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

Taiz, L., E. Zeiger., I. M. Moller., A. Murphy. 2016. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 888 p.

Teixeira, M. F. D. 2023. Atributos microbiológicos do solo inoculado com solubilizadores de fosfato no cultivo do milho com residual de fósforo. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Agronomia) –Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS).

Withers, P. et al. 2018. Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Natura Scientific Reports*. v. 8, n, 1, p, 2537.

Wiwart M., G. Fordoyski., K. Ąuk-Gořaszewska., E. Suchowilska. Diagnóstico precoce de deficiências de macronutrientes em três espécies de leguminosas por análise de imagens coloridas. *Comput Electron em Agric.* V.65, p. 125–132, 2009.

Yadav, H., R. Fatima., A. Sharma., S. Mathur., Enhancement of applicability of rock phosphate in alkaline soils by organic compost. *Appl Soil Ecol.* v.113, p.80–85, 2017.

Yadav, A. N. Phosphate-Solubilizing microorganisms for agricultural Sustainability. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*, v. 10, p. 1-6, 2022.

Zaidi, A., M. S. Khan., M. Ahemad. Oves, M. Plant growth promotion by phosphate solubilizing bacteria. *Acta Microbiol. Imm. H.* v. 56, p. 263–284, 2009.

Zhu, J., M. Li., M. Whelan. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, v. 612, p. 522-537, 2018.