

KP CONSULTORIA LTDA

Rua: Fernando Costa, 177 – Sala 602 - Bairro Maracanã
38.400-234 - Uberlândia/MG



Relatório Final

Avaliação de remineralizador de solo no sistema de produção da soja e milho e na fertilidade do solo



Uberlândia – MG
Dezembro - 2023

I - PESQUISADORES RESPONSÁVEIS

Prof. Dr. Gaspar H. Korndörfer | KP Consultoria, UFU

Dr. Gustavo A. Santos | KP Consultoria

Eng. Agr. M.Sc. Camila A. C. Gualberto | KP Consultoria

II- EMPRESA FINANCIADORA DO PROJETO DE PESQUISA

Triunfo Mineração do Brasil LTDA/Harvest Minerals

Eduardo Spolidorio – edu.spolidorio@terra.com.br

III - COLABORADORES

Agrademos à equipe da Triunfo por toda a ajuda e colaboração durante a condução do experimento.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	2
2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO	4
3. MATERIAL E METÓDOS.....	5
3.1 Localização do experimento e delineamento experimental	5
3.2 Instalação	5
3.3 Avaliações	6
3.4 Análises estatísticas	7
3.5 Observações adicionais.....	7
4. RESULTADOS (SOJA)	10
4.1 Registros fotográficos	10
4.2 Análise foliar	22
4.3 Produtividade e peso de mil grãos (PMG 13%)	26
4.4 Análise química do solo.....	28
4.5 Bioindicadores da saúde do solo	47
5. CONCLUSÕES	51
REFERÊNCIAS	52

1. INTRODUÇÃO

Os solos tropicais, especialmente aqueles mais intemperizados, apresentam baixa fertilidade natural, alta acidez, baixa saturação por bases e baixa disponibilidade de nutrientes para as plantas, especialmente o fósforo (P). Além disso, boa parte do P fornecido na adubação torna-se indisponível pelo fenômeno da fixação de P, processo pelo qual o elemento fica retido na superfície das partículas do solo, devido principalmente, às reações com três elementos químicos do solo: ferro, alumínio e cálcio (SOUZA et al., 2004). Dessa forma, por apresentar baixa mobilidade no solo (MARSCHNER, 2002), o fósforo é, frequentemente, o fator que restringe o crescimento de plantas (HINSINGER, 2001).

Neste sentido, para sistemas de cultivos anuais, a exemplo da soja e do milho, tornam-se necessárias recomendações adequadas no manejo da adubação fosfatada, visando alta eficiência do uso do P. Assim, grandes quantidades de adubos fosfatados são fornecidas ao solo no intuito de não haver deficiência do nutriente para a planta. Contudo, mesmo sendo aplicadas grandes quantidades de fertilizantes fosfatados, a maior parte do P adicionado é fixada ao solo, havendo recuperação pelas culturas de apenas 5 a 20% em um ano agrícola, onerando bastante os custos de produção (ARAUJO; MACHADO, 2007).

Para reduzir a dependência de importação de fertilizantes fosfatados, otimizar a eficiência da adubação fosfatada e promover o aproveitamento dos recursos naturais, o uso de fontes alternativas de P tem sido proposto. Dentre esses produtos, destacam-se os agrominerais, os quais apresentam potencial de promover incrementos nos teores de P e de outros elementos no solo, como K, Ca e Mg.

Segundo Theodoro e Almeida (2013), a tecnologia da rochagem, a qual consiste na moagem e aplicação de determinados tipos de rochas contendo macro e micronutrientes, é uma alternativa com potencial de promover melhorias à fertilidade dos solos brasileiros. Assim, os pós de rocha, também conhecidos como remineralizadores ou agrominerais, são utilizados com o objetivo de restaurar solos degradados, sendo considerados “estoques” de nutrientes de baixa dissolução, os quais estarão disponíveis de acordo com a demanda da planta (THEODORO et al., 2010).

Dentre as vantagens dos remineralizadores de solo, ressaltam-se a disponibilidade em abundância e o baixo custo, o efeito residual prolongado, a minimização de perdas por lixiviação e a disponibilidade de macro e micronutrientes não disponíveis em fertilizantes químicos solúveis (SILVA, 2013).

Neste contexto, objetivou-se avaliar a aplicação do KP Fértil, proveniente da rocha Kamafugito, na produtividade e no desenvolvimento da soja e do milho em cultivos consecutivos.

2. DESCRIÇÃO DO PRODUTO

O KP Fértil é um insumo agrícola obtido diretamente da natureza, sem que necessite passar por nenhum processo ou transformação química, o qual possuí na sua composição macronutrientes (fósforo, potássio, cálcio e magnésio) e micronutrientes (Si, Mn, Fe, Co, Ni e traços de outros) essenciais e fundamentais para o crescimento das plantas e para auxiliar a manutenção e reposição da fertilidade dos solos. Trata-se de um remineralizador multinutriente, cuja rocha básica para produção é o Kamafugito.

Garantias mínimas:

P₂O₅ total – 3,0%

P₂O₅ solúvel em Ac. Cítrico: 2,1%

P₂O₅ solúvel em CNA + H₂O: 2,2%

K₂O total – 3,0%

CaO: 4,0%

MgO: 4,0%

SiO₂: 35,0%

MnO: 0,32%

Fe: 15,4%

Co: 0,087%

Obs: P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 2% relação 1:100; K₂O total: HF.

Disponível em: <https://kp-fertil.com/kpfertil/>

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento e delineamento experimental

O experimento foi instalado em área de produção de cerais localizada no município de Uberlândia – MG ($18^{\circ}59'55''$ O e $48^{\circ}11'18''$ S). Utilizou-se delineamento experimental em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. Assim, avaliaram-se diferentes doses de P_2O_5 via KP Fértil e/ou superfosfato triplo (SFT) no sulco de semeadura da soja. As doses e produtos utilizados em cada tratamento estão mostrados na tabela 1.

Tabela 1. Doses e produtos utilizados em cada tratamento

Tratamento	Produto	Dose de P_2O_5	Dose de produto
		----- kg ha ⁻¹ -----	
1	Testemunha (sem P)	0	0
2	KP Fértil 100% + SFT 0%	$200 + 0 = 200$	6666 + 0
3	KP Fértil 75% + SFT 25%	$150 + 50 = 200$	5000 + 111
4	KP Fértil 50% + SFT 50%	$100 + 100 = 200$	3333 + 222
5	KP Fértil 25% + SFT 75%	$50 + 150 = 200$	1666 + 333
6	KP Fértil 0% + SFT 100%	$0 + 200 = 200$	0 + 444

SFT: Superfosfato triplo = 45% de P_2O_5 .

As parcelas foram constituídas por 12 linhas de soja com 6 m de comprimento, espaçadas 0,5 m entre si, sendo que a área de cultivo de cada parcela foi de 36 m².

O experimento foi instalado em um solo com 31% de argila, cujas características químicas estão descritas na tabela 2.

Tabela 2. Caracterização química do solo (0-20 cm) da área de instalação do experimento (Uberlândia - MG, instalação em 09/21)

pH	P	S	K	Ca	Mg	Al	MO	B	Cu	Fe	Mn	Zn	SB	T	V
	----- mg dm ⁻³ -----			----- cmol _c dm ⁻³ -----			%		----- mg dm ⁻³ -----				cmol _c dm ⁻³		%
6,1	0,28	3,1	21	3,8	1,2	0	2,0	0,3	0,6	91	0,7	0,4	5,1	7,4	68

pH: CaCl₂; P e K: Mehlich-1; S: Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol L⁻¹; Al, Ca, Mg: KCl 1 mol L⁻¹; MO: K₂Cr₂O₇; B: BaCl₂; Cu, Fe, Mn e Zn: DTPA; : SB: soma de bases; T: CTC a pH 7; V: saturação por bases (SILVA, 2009).

3.2 Instalação

O KP Fértil foi aplicado nos dias 17 de setembro de 2021 e 06 de outubro de 2022, em área total e com incorporação com grade niveladora. O SFT foi aplicado no momento da semeadura da soja, nos dias 06 de novembro de 2021 e 03 de novembro de 2022, na linha de plantio e sem incorporação.

No dia 26 de novembro de 2021, foram aplicados 90 kg ha⁻¹ de K₂O em área total. Utilizou-se o cultivar Brasmax Desafio, o qual apresenta ciclo de 120 dias, altíssimo potencial de produtividade e alta exigência nutricional (<https://diadecamposoja.com.br/arquivos/CATALOGO-BRASMAX.pdf>). No segundo ano, utilizou-se o mesmo cultivar, mas não houve adubação com K.

No cultivo do milho, em 23 de março 2023, utilizou-se o híbrido MG 593, o qual apresenta ciclo precoce, alto potencial produtivo e boa sanidade (<https://www.morgansementes.com.br/produtos/mg593>). No dia 17 de abril de 2023, realizou-se a adubação de cobertura com 400 kg ha⁻¹ do formulado 20-00-20.

A estação de pesquisa onde o experimento foi instalado consta com sistema de irrigação por aspersão, o qual foi utilizado sempre que necessário de modo que a redução da pluviosidade e a disponibilidade de água no solo não limitassem o desenvolvimento da cultura.

3.3 Avaliações

- Análise foliar

Aos 60 (1º ciclo soja – R1-1), 88 (2º ciclo soja– R1-1) e 231 (milho) dias após a 1ª aplicação dos tratamentos (DAA) (01/22, 01/23 e 06/23), foram coletadas amostras de folhas para análise de macro e micronutrientes seguindo metodologia proposta por Silva (2009). Para soja, coletou-se o 1º trifólio totalmente expandido de cima para baixo, amostrando 10 trifólios nas 4 linhas centrais de cada parcela. No milho, foi coletada a folha no terço médio abaixo da espiga no aparecimento da inflorescência feminina.

- Produtividade (sacas por hectare) e peso de mil grãos a 13% de umidade (g)

Aos 159 (1º ciclo soja), 162 (2º ciclo soja) e 299 (milho) DAA (04/22, 03/23 e 08/23), realizou-se a coleta de 100 plantas por parcela, as quais foram trilhadas em trilhadeira manual. Em seguida, os grãos trilhados foram pesados e tiveram sua umidade real determinada, sendo ajustada para 13%. Por fim, os resultados (peso de grãos com umidade a 13%) foram extrapolados para 300.000 plantas (obtenção em sacas por hectare).

- Análise de solo

Aos 161 (1º ciclo soja), 165 (2º ciclo soja) e 299 (milho) DAA (04/22, 03/23 e 08/23), foram coletadas amostras de solo, nas profundidades de 0-10 e 10-20 cm,

coletando-se três amostras por parcela, para análise de macro e micronutrientes seguindo metodologia proposta por Silva (2009).

- Análise dos bioindicadores da saúde do solo: enzimática e carbono da biomassa microbiana

Aos 354 e 165 DAA (10/22 e 03/23), foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0-10 cm para análise dos bioindicadores da saúde do solo (atividade das enzimas arilsulfatase, fosfatase ácida e β -glicosidase e carbono da biomassa microbiana) (BioAS – EMBRAPA – <https://www.embrapa.br/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/6047/bioas--tecnologia-de-bioanalise-de-solo->) (MENDES et al., 2018).

3.4 Análises estatísticas

As médias dos tratamentos foram submetidas à análise de variância utilizando-se o programa estatístico Sisvar (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e comparadas pelo teste de Scott-Knott a 0,10 de significância. Além disso, realizou-se análise de regressão para as doses crescentes de KP Fértil com auxílio dos programas estatísticos Sisvar (versão 5.3) (FERREIRA, 2014) e SigmaPlot (versão 11.0) (SYSTAT SOFTWARE, 2008) a 0,10 de significância. Obs: a testemunha absoluta não foi considerada na análise de regressão.

3.5 Observações adicionais

No dia 28 de abril de 2022, 14 dias após a colheita do 1º ciclo da soja, realizou-se a semeadura do milho (híbrido NS88 VIP3 - Nidera). No entanto, segundo relatos dos técnicos responsáveis pela estação e de produtores vizinhos à área, as baixas temperaturas inviabilizaram o desenvolvimento da cultura. Como pode ser observado na figura 1, as temperaturas mínimas sofreram queda constante após a semeadura do milho (28/04) e se mantiveram em níveis baixos, atingindo índices próximos à 5º C.

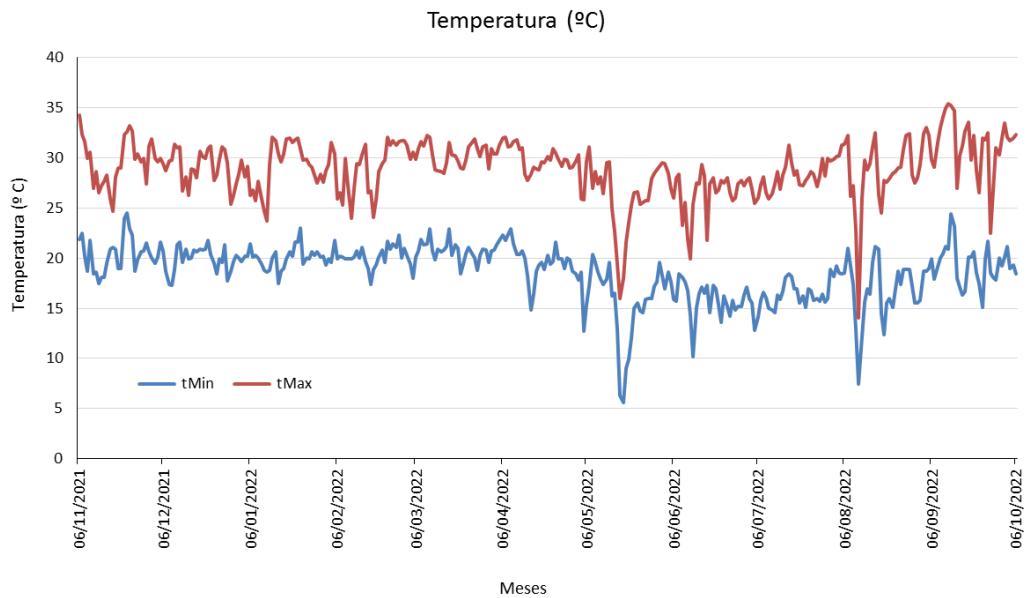


Figura 1. Valores de temperatura máxima e mínima, ano safra 21/22 na estação experimental FisioPlant P&D, localizada no município de Uberlândia-MG. Fonte: Estação climática FisioPlant P&D.

Na época prevista para colheita da cultura do milho, a equipe KP Consultoria realizou uma visita à área e registrou a situação do campo e das plantas, confirmando a impossibilidade de avaliação do experimento nesta etapa. Os registros de imagens estão apresentados a seguir:



Figura 2. 15/09/22: Visão geral da área do experimento aos 140 dias após a semeadura (Estação experimental FisioPlant P&D, Uberlândia – MG)



Figura 3. 15/09/22: Porte das plantas na área do experimento aos 140 dias após a semeadura (Estação experimental FisioPlant P&D, Uberlândia – MG)



Figura 4. 15/09/22: Porte das espigas das plantas da área do experimento aos 140 dias após a semeadura (Estação experimental FisioPlant P&D, Uberlândia – MG)

Conforme já conversado com a empresa requerente, a equipe da KP Consultoria sugeriu a inclusão de uma 3^a cultura (cultura de inverno) no 3º ano do experimento (safra 2023/2024) ou a inclusão de um 4º ciclo de soja na safra 2024/2024 para cumprir a entrega dos resultados.

4. RESULTADOS

4.1 Registros foliares aos 60 dias após o plantio

4.1.1 1º ciclo soja (2022)

----- Testemunha (sem P) -----

----- R1 -----



----- R2 -----



----- R3 -----



----- R4 -----



----- 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

----- R1 -----



----- R2 -----



----- R3 -----



----- R4 -----



----- 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

R1



R2

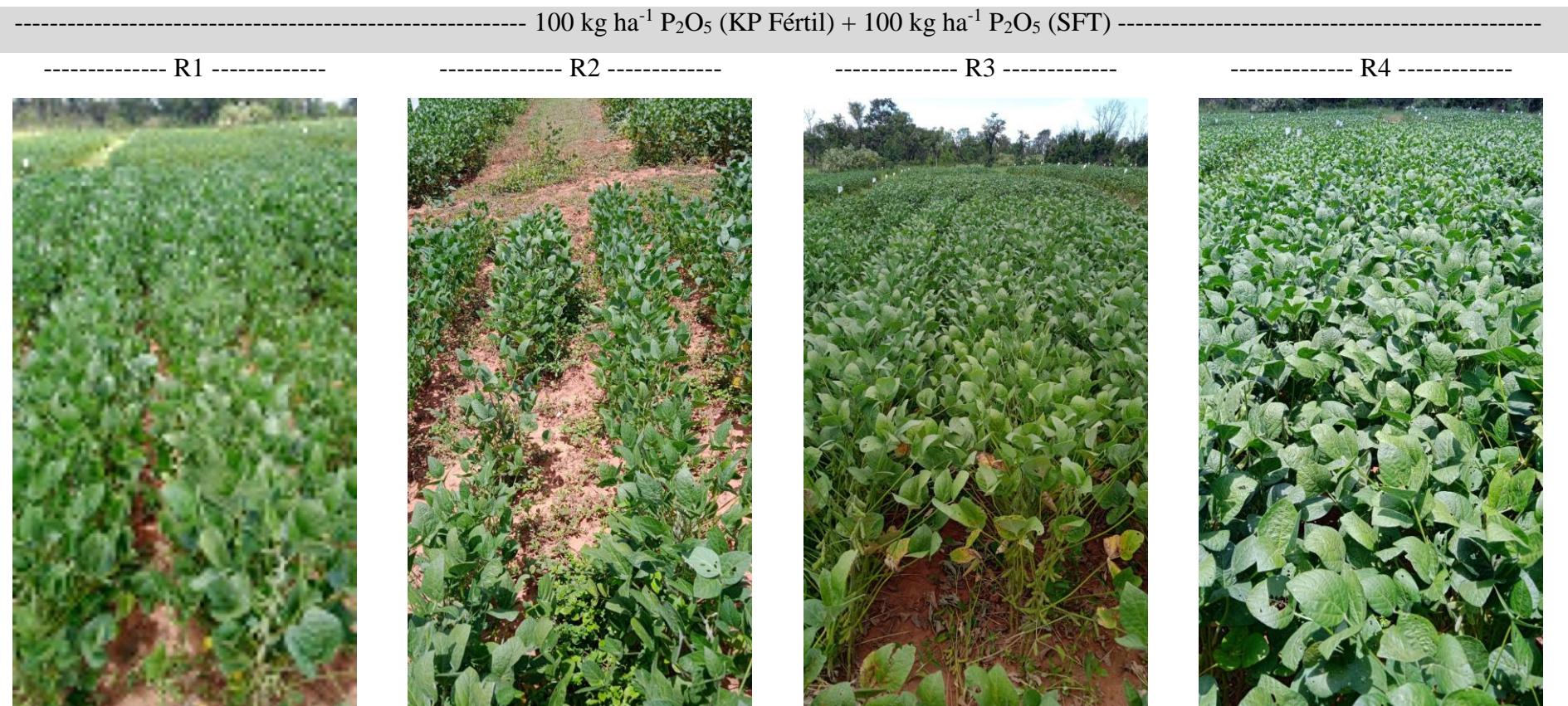


R3

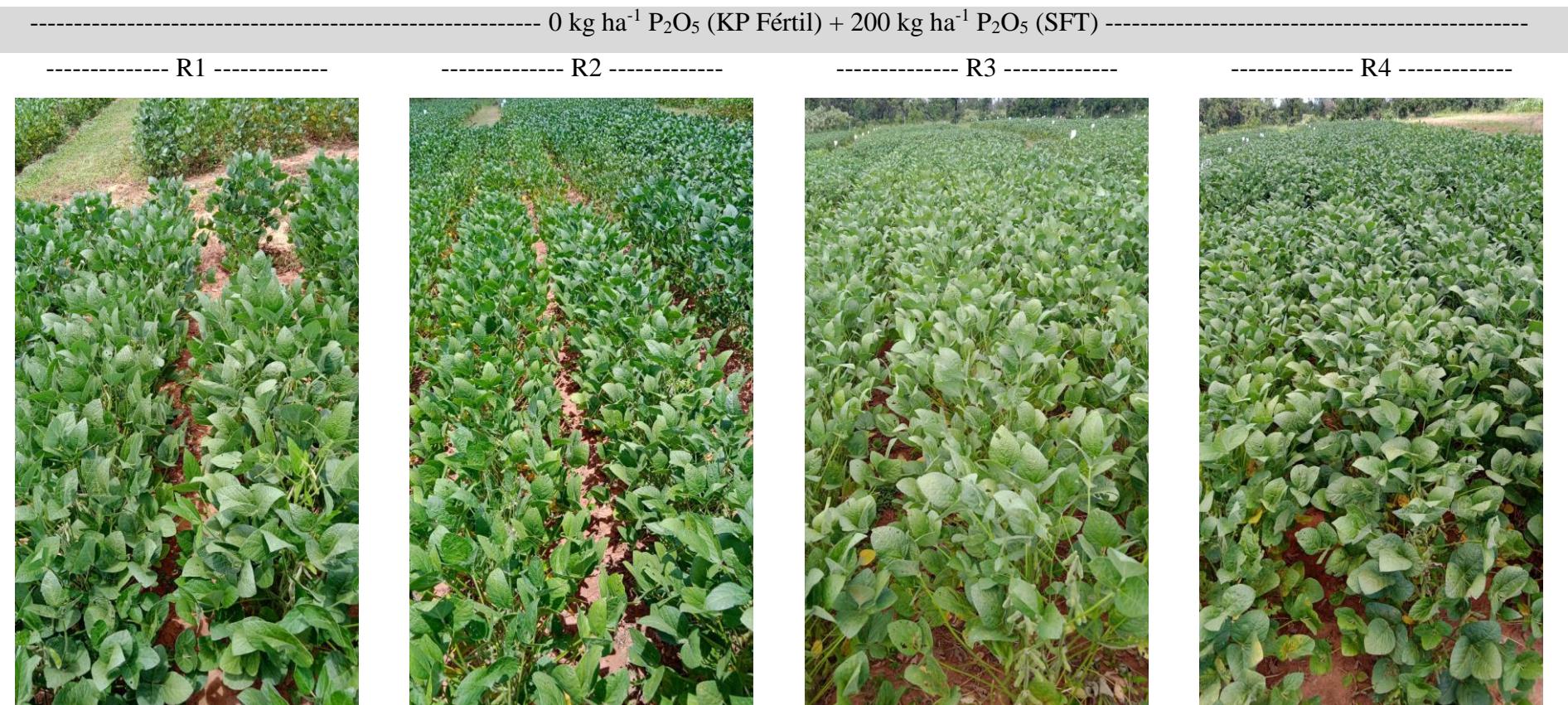


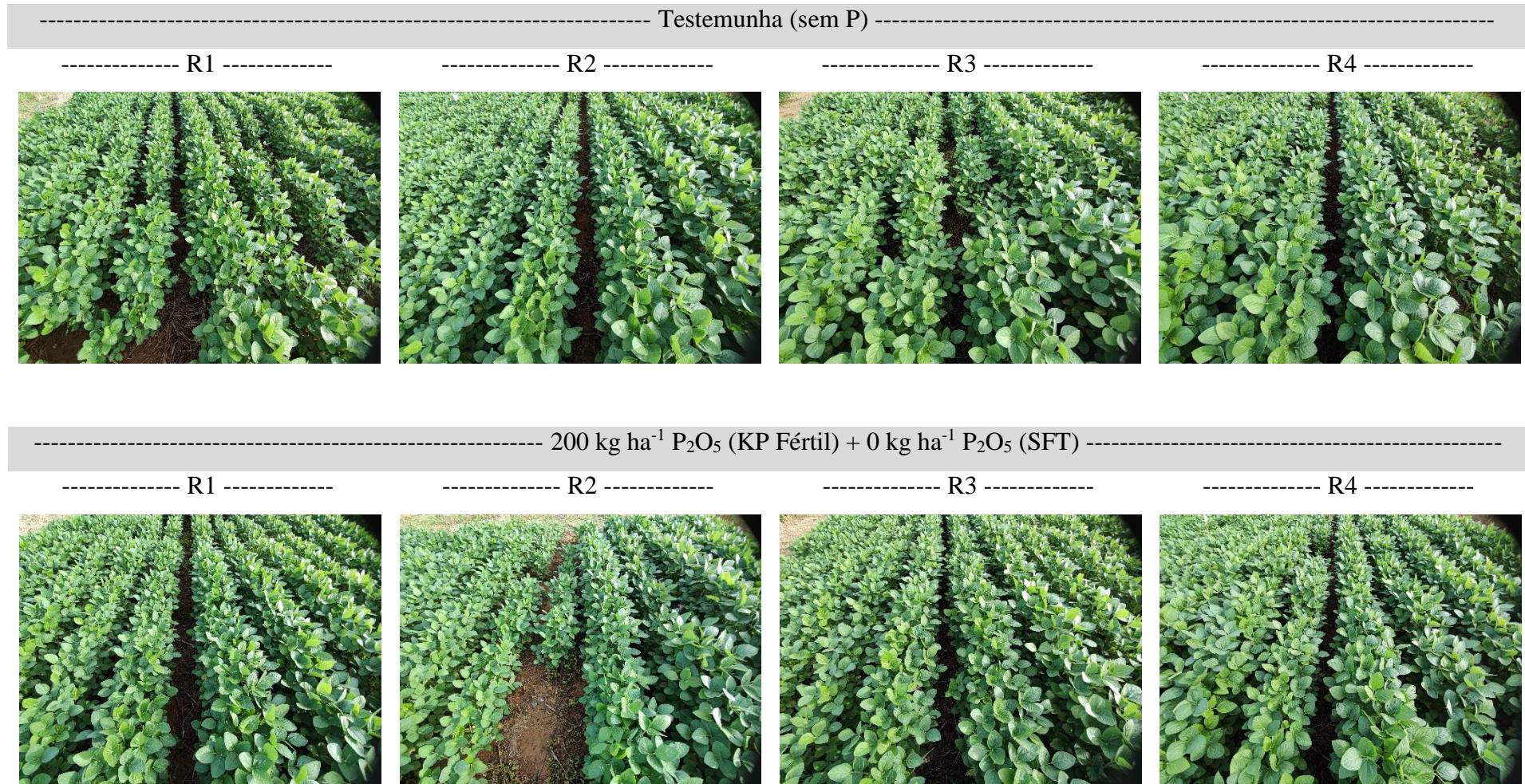
R4









4.1.2 2º ciclo soja (2023)

----- 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

R1



R2



R3



R4



----- 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

R1



R2

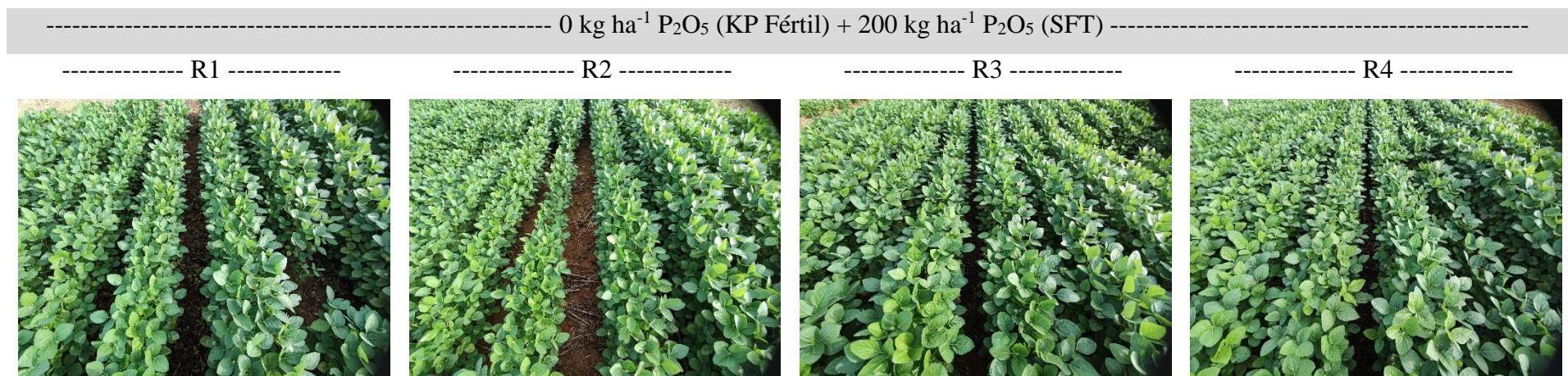
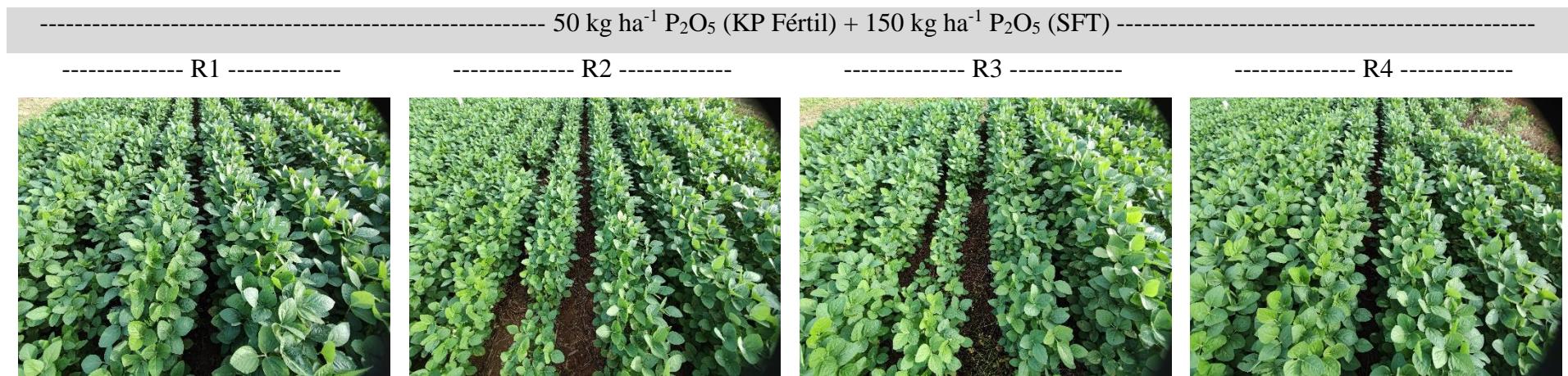


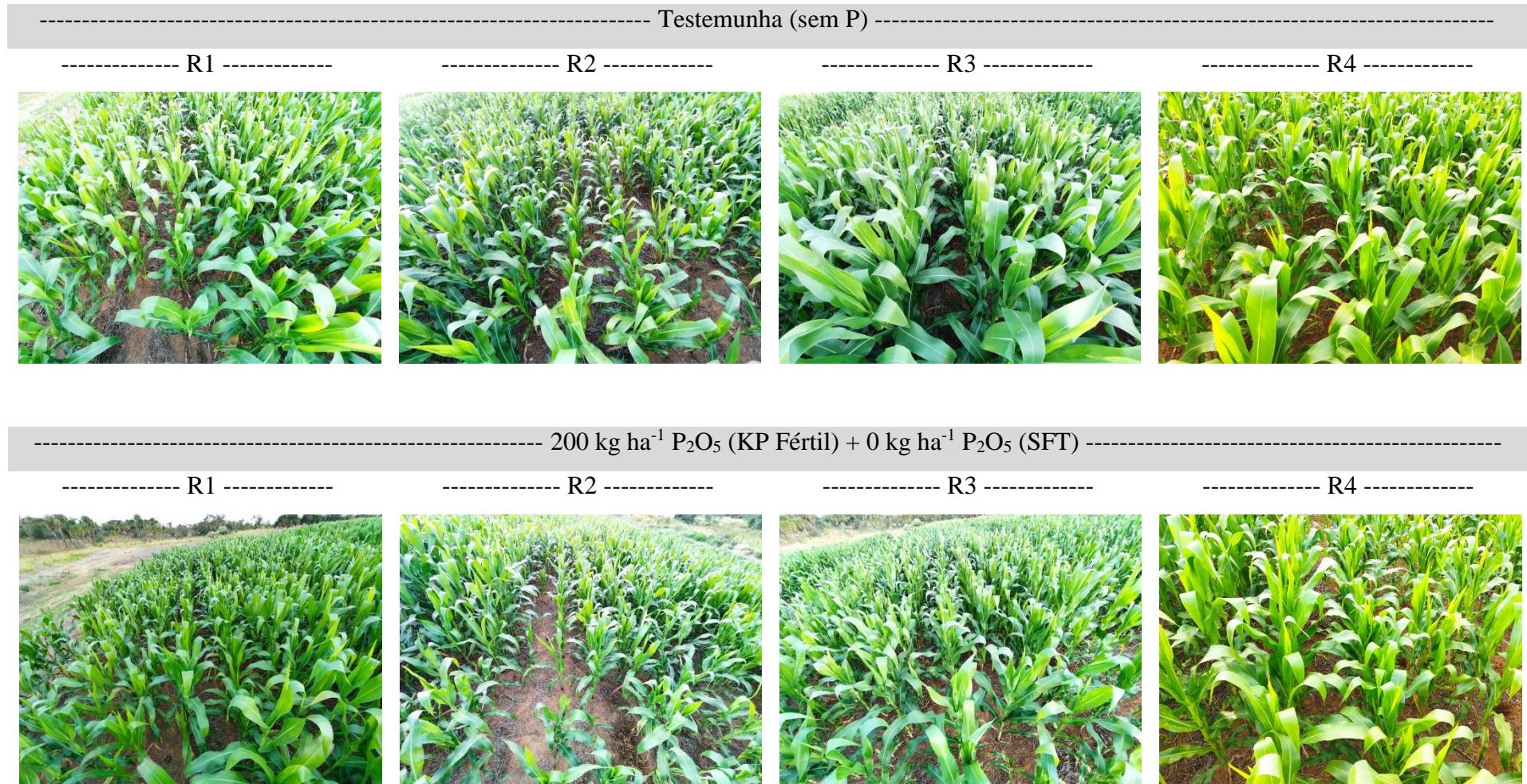
R3



R4





4.1.3 2º Milho (2023)

----- 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

R1



R2



R3



R4



----- 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 100 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

R1



R2



R3



R4



----- 50 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 150 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

----- R1 -----



----- R2 -----



----- R3 -----



----- R4 -----



----- 0 kg ha⁻¹ P₂O₅ (KP Fértil) + 200 kg ha⁻¹ P₂O₅ (SFT) -----

----- R1 -----



----- R2 -----



----- R3 -----



----- R4 -----



4.2 Análise foliar

4.2.1 1º ciclo soja (2022)

A aplicação de 25% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅) resultou em teores foliares de P e Mg superiores ao tratamento testemunha, com acréscimos de 0,4 g kg⁻¹ de P e 0,7 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 3). Quando comparado à aplicação somente do SFT, este tratamento resultou em acréscimos de 0,3 g kg⁻¹ de P e Mg (Tabela 3).

Além disso, nota-se que, apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil no pré-plantio da soja promoveu acréscimos nos teores foliares de K, Ca, Cu, Mn, Zn e B (Tabelas 3 e 4).

Tabela 3. Teores de macronutrientes em folhas de soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, coleta de folhas em 01/22, aos 60 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	N	P	K	S	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹	-----	----- g kg ⁻¹ -----	-----	-----	-----	-----
Testemunha (Sem P)	0	44,3 a	2,1 b	22,3 a	2,4 a	6,3 a	1,7 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	42,9 a	2,1 b	23,5 a	2,4 a	7,7 a	2,1 ab
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	45,2 a	2,3 ab	23,5 a	2,4 a	7,8 a	2,1 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	44,5 a	2,3 ab	23,3 a	2,3 a	7,0 a	2,1 ab
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	47,3 a	2,5 a	23,5 a	2,4 a	8,2 a	2,4 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	48,0 a	2,2 b	23,7 a	2,4 a	8,6 a	2,1 ab

N: CV: 22,2%; P: CV: 7,6%; K: CV: 7,5%; S: CV: 5,0%; Ca: CV: 20,6%; Mg: CV: 12,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 4. Teores de micronutrientes em folhas de soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, coleta de folhas em 01/22, aos 60 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	-----	----- mg kg ⁻¹ -----	-----	-----	-----
Testemunha (Sem P)	0	9,8 a	237,3 a	215,1 a	108,5 a	39,2 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	9,7 a	257,3 a	224,1 a	110,5 a	39,7 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	9,3 a	238,4 a	234,8 a	112,0 a	40,3 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	10,0 a	219,8 a	210,2 a	114,5 a	41,7 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	9,8 a	215,4 a	217,4 a	102,1 a	42,5 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	11,5 a	157,8 a	192,3 a	103,7 a	40,6 a

Cu: CV: 53,1%; Fe: CV: 37,6%; Mn: CV: 18,0%; Zn: CV: 26,1%; B: CV: 10,1%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

A aplicação das doses crescentes de P₂O₅ via KP Fértil resultou em modelo polinomial quadrático quanto aos teores foliares de P na soja, cujo melhor resultado seria observado na dose de 87,5 kg ha⁻¹ (43,5% da dose de P₂O₅ via KP Fértil e 56,5% via SFT) (ponto máximo da curva) (Figura 5).

Não foram obtidos ajustes de modelos significativos que demonstrem o efeito das doses de P₂O₅ via KP Fértil dos teores dos demais elementos.

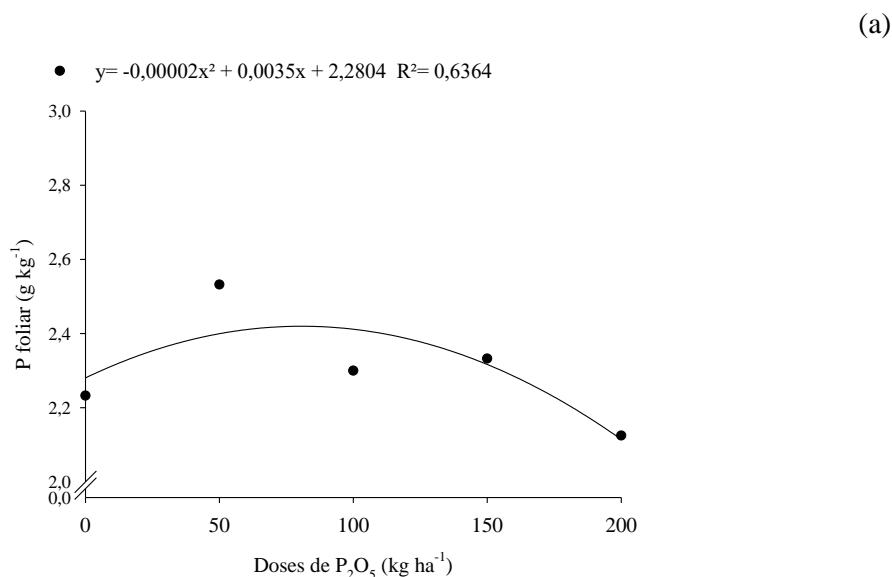


Figura 5. Teores de P em folhas em folhas de soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, coleta de folhas em 01/22, aos 60 dias após a aplicação)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

4.2.2 2º ciclo soja (2023)

Maiores teores foliares de P foram obtidos nos tratamentos que receberam 50 ou 75% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil, com ganhos de 0,7 g kg⁻¹ de P em relação à testemunha (Tabela 5). Quanto ao N, maiores teores são obtidos com a aplicação de 50 ou 100% da adubação via mineral (Tabela 5). Apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação de 50% da dose através do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha de 2,3 g kg⁻¹ de K, 1,2 g kg⁻¹ de Ca e 0,5 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de macronutrientes em folhas de soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta de folhas em 01/23, aos 88 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	N	P	K	S	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					
Testemunha (Sem P)	0	40,6 b	2,3 b	24,0 a	2,4 a	6,6 a	2,8 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	40,2 b	2,5 b	24,3 a	2,5 a	7,0 a	3,0 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	40,7 b	2,9 a	25,5 a	2,6 a	7,3 a	3,1 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	48,3 a	3,0 a	26,3 a	2,5 a	7,8 a	3,3 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	43,6 b	2,8 b	24,3 a	2,5 a	6,8 a	3,2 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	52,8 a	2,6 b	23,7 a	2,5 a	6,9 a	3,1 a

N: CV: 13,7%; P: CV: 8,2%; K: CV: 12,1%; S: CV: 6,6%; Ca: CV: 7,4%; Mg: CV: 6,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Quanto aos micronutrientes, a aplicação de 50% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil resultou em ganhos de aproximadamente 2 mg kg⁻¹ de Cu e de B quando comparado à testemunha (Tabela 6). Quanto ao Mn e ao Zn, melhores resultados foram obtidos com a aplicação somente do KP Fértil (100% da dose), com acréscimos de 15,3 mg kg⁻¹ de Mn e de 5,5 mg kg⁻¹ de Zn (Tabela 6).

Tabela 6. Teores de micronutrientes em folhas de soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta de folhas em 01/23, aos 88 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹				
Testemunha (Sem P)	0	6,5 a	104,6 a	77,0 a	47,1 a	27,7 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	6,5 a	108,1 a	92,3 a	52,6 a	29,3 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	8,1 a	113,6 a	84,8 a	50,5 a	29,0 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	8,4 a	107,0 a	82,0 a	41,1 a	29,9 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	7,2 a	97,9 a	82,6 a	47,6 a	29,0 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	6,7 a	98,0 a	76,0 a	48,4 a	30,3 a

Cu: CV: 29,6%; Fe: CV: 20,1%; Mn: CV: 13,9%; Zn: CV: 10,8%; B: CV: 5,5%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil nos teores foliares de nutrientes no segundo cultivo da soja.

4.2.3 Milho (2023)

A aplicação dos fertilizantes resultou em teores de Mg em folhas de milho superiores à testemunha, independentemente da combinação ou dose utilizada, com acréscimos de até 0,7 g kg⁻¹ de Mg (Tabela 7). Diferenças estatísticas também foram obtidas ao seu avaliar os teores foliares de Cu, cujos melhores resultados foram observados com a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ através do KP Fértil (Tabela 8).

Apesar de não observadas diferenças estatísticas para os demais nutrientes, a aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha de até 1,5 g kg⁻¹ de N, 0,8 g kg⁻¹ de K, 8,3 mg kg⁻¹ de Fe, 37,8 mg kg⁻¹ de Mn, 2,7 mg kg⁻¹ de Zn e 0,9 mg kg⁻¹ de B, sendo que, de modo geral, melhores resultados foram obtidos substituindo 25% da dose de P₂O₅ pelo KP Fértil (Tabelas 7 e 8).

Tabela 7. Teores de macronutrientes em folhas de milho (híbrido MG593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 03/23, coleta de folhas em 06/23, aos 243 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	N	P	K	S	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹	-----	-----	g kg ⁻¹ -----	-----	-----	-----
Testemunha (Sem P)	0	19,8 a	1,4 a	13,5 a	1,5 a	7,1 a	2,0 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	20,5 a	1,4 a	14,3 a	1,5 a	7,1 a	2,3 b
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	21,9 a	1,2 a	14,0 a	1,5 a	7,7 a	2,6 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	21,0 a	1,4 a	14,3 a	1,6 a	7,6 a	2,7 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	21,3 a	1,2 a	14,3 a	1,7 a	7,2 a	2,5 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	20,2 a	1,3 a	14,0 a	1,8 a	6,9 a	2,7 a

N: CV: 11,3%; P: CV: 15,0%; K: CV: 8,2%; S: CV: 13,3%; Ca: CV: 9,7%; Mg: CV: 8,2%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 8. Teores de micronutrientes em folhas de milho (híbrido MG593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 03/23, coleta de folhas em 06/23, aos 243 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	-----	-----	mg kg ⁻¹ -----	-----	-----
Testemunha (Sem P)	0	4,0 b	207,0 a	206,8 a	28,3 a	4,9 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,2 b	221,5 a	217,5 a	29,1 a	5,8 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	8,9 a	210,2 a	226,4 a	29,2 a	5,5 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	5,4 b	210,1 a	244,6 a	31,7 a	5,6 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	7,8 a	215,3 a	235,6 a	30,0 a	5,3 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	5,8 b	222,8 a	254,5 a	28,2 a	6,3 a

Cu: CV: 30,4%; Fe: CV: 13,1%; Mn: CV: 19,0%; Zn: CV: 18,9%; B: CV: 32,0%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil nos teores foliares de macro e micronutrientes.

4.3 Produtividade e peso de mil grãos (PMG 13%)

4.3.1 1º ciclo soja (2022)

Observa-se na tabela 9 que, apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação de 50% de dose de P₂O₅ através do KP Fértil (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via KP Fértil e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT) promoveu ganhos em relação à testemunha de 12,6 sacas ha⁻¹. Quanto ao peso de mil grãos a 13% de umidade, a substituição de 50% da dose de P₂O₅ pelo KP Fértil (100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via KP Fértil e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via SFT) promoveu ganhos de 7,1 g em relação à testemunha e de 4,7 g em relação ao SFT.

Tabela 9. Peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG 13%) e produtividade da soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, colheita em 04/22, aos 159 dias após o plantio)

Produto	Dose de P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹	PMG 13% g	Produtividade sc ha ⁻¹
Testemunha (Sem P)	0	171,8 a	55,5 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	171,9 a	60,6 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	171,8 a	63,5 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	178,9 a	68,1 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	176,0 a	66,7 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	174,2 a	70,4 a

PMG 13%: CV: 2,9%; Produtividade: CV: 26,9%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na produtividade e no PMG a 13% da soja.

4.3.2 2º ciclo soja (2023)

A aplicação do KP Fértil substituindo 25 ou 50% da dose de P₂O₅ via mineral resultou em maiores produtividades da soja, com ganhos de 15 sc ha⁻¹ em relação à testemunha e 10 sc ha⁻¹ em relação ao tratamento que recebeu somente o fertilizante mineral (Tabela 10).

Quanto ao PMG a 13% de umidade, nota-se que, apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil, nas doses de 25 ou 50% da dose

recomendada, resultou em acréscimos de até 15 g em relação à testemunha e 8 g em relação ao tratamento 100% mineral (Tabela 10).

Tabela 10. Peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG 13%) e produtividade da soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, colheita em 03/23, aos 162 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	PMG 13%	Produtividade
	kg ha ⁻¹	g	sc ha ⁻¹
Testemunha (Sem P)	0	161,9 a	63,5 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	169,8 a	71,4 b
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	168,6 a	72,1 b
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	171,0 a	86,1 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	176,9 a	84,2 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	168,8 a	70,8 b

PMG 13%: CV: 5,5%; Produtividade: CV: 11,5%

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Ao se avaliar a produtividade acumulada (somatório dos dois anos), nota-se novamente melhores resultados com a aplicação de 25 e 50% da dose através do KP Fértil, com ganhos de até 35 sc ha⁻¹ em relação à testemunha e 13 sc ha⁻¹ em relação ao tratamento somente com mineral (SFT) (Tabela 11).

Tabela 11. Produtividade acumulada (somatório dos dois anos) da soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 11/22, colheitas em 03/23, aos 162 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Produtividade
	kg ha ⁻¹	Acumulada
Testemunha (Sem P)	0	119,0 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	131,9 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	135,6 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	154,3 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	150,9 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	141,0 a

Produtividade acumulada: CV: 16,5%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na produtividade e no PMG a 13% do segundo cultivo de soja.

4.3.3 Milho (2023)

A aplicação do KP Fértil nas doses de 200 e 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (100% e 75% da dose recomendada) resultou em valores de peso de mil grãos de milho a 13% de umidade superiores à testemunha, com acréscimos de 34,2 g (Tabela 12). Quanto à produtividade em sacas por hectare, valores superiores à testemunha foram obtidos com a aplicação de 75% e 50% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil, com ganhos de até 22 sacas ha⁻¹ em relação à testemunha. Ressalta-se ainda que, apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil na dose de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (75% da dose recomendada) resultou 5,3 sacas ha⁻¹ a mais que o tratamento que recebeu somente o superfosfato triplo (Tabela 12).

Tabela 12. Peso de mil grãos a 13% de umidade (PMG 13%) e produtividade do milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, colheita em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	PMG 13%	Produtividade
	kg ha ⁻¹	g	sacas ha ⁻¹
Testemunha (Sem P)	0	244,5 b	124,6 b
Remineralizador 100% + SFT 0%	200 + 0	264,0 a	126,3 b
Remineralizador 75% + SFT 25%	150 + 50	278,7 a	146,4 a
Remineralizador 50% + SFT 50%	100 + 100	256,6 b	140,7 a
Remineralizador 25% + SFT 75%	50 + 150	252,7 b	133,1 b
Remineralizador 0% + SFT 100%	0 + 100	273,4 a	141,1 a

PMG 13%: CV: 5,1%; Produtividade: CV: 6,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na produtividade e no PMG a 13% do milho.

4.4 Análise química do solo

4.4.1 1º ciclo soja (2022)

De modo geral, a aplicação do KP Fértil, substituindo totalmente ou parcialmente o SFT utilizado no plantio da soja, resultou em maiores teores de Ca, Mg e P remanescente e em maiores valores de soma e saturação por bases na profundidade de 0-10 cm de solo, com acréscimos em relação à testemunha de até 2,7 mg dm⁻³ de P rem, 0,7 cmol_c dm⁻³ de Ca, 0,3 cmol_c dm⁻³ de Mg, 1,0 cmol_c dm⁻³ na SB e 16% na V (Tabelas 13 e 14). Além disso, menores teores de Al trocável na camada superficial de solo (0-10 cm) também foram observados nos tratamentos que receberam o KP Fértil (Tabela 14).

Ressalta-se ainda que, ainda na profundidade de 0-10 cm de solo, a substituição parcial do P_2O_5 pelo KP Fértil resultou em teores de P (Mehlich-1 ou Resina) e de Mn superiores aos observados com a testemunha e com o tratamento que recebeu somente o SFT, com ganhos de 11 mg dm^{-3} de P (Mehlich), $7,5\text{ mg dm}^{-3}$ de P (Resina) e $0,5\text{ mg dm}^{-3}$ de Mn (Tabelas 13 e 15).

Na profundidade de 10-20 cm de solo, maiores teores de P remanescente e Ca, maiores valores de pH e saturação por bases e menores valores de Al trocável foram observados nos tratamentos que receberam as maiores doses de KP Fértil (100 e 75% da dose recomendada de P_2O_5) (Tabelas 16 e 17).

Tais resultados demonstram o potencial do uso do KP Fértil não somente na disponibilização de P no solo, mas na correção da acidez e na disponibilização de outros nutrientes ao solo.

Tabela 13. Teores de macronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K Resina	K Meh	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	- cmol _c dm ⁻³ -	mg dm ⁻³	
Testemunha (Sem P)	0	8,1 b	21,2 b	5,5 b	38,4 a	72,0 a	1,3 b	0,3 b	9,1 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	8,5 b	23,9 a	6,0 b	41,7 a	86,0 a	2,0 a	0,6 a	7,7 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	13,5 a	23,4 a	11,6 a	42,0 a	77,5 a	1,8 a	0,6 a	8,7 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	17,3 a	22,7 a	12,1 a	39,2 a	74,5 a	1,5 b	0,6 a	9,5 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	19,1 a	22,7 a	13,0 a	39,9 a	61,3 b	1,6 a	0,6 a	8,1 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	9,9 b	21,6 b	6,4 b	37,6 a	58,5 b	1,1 b	0,4 b	8,6 a

P Meh: CV: 28,4%; P Rem: CV: 3,9%; P Resina: CV: 46,8%; K Resina: CV: 15,7%; K Meh: CV: 12,6%; Ca: CV: 24,7%; Mg: CV: 32,3%; S: CV: 19,3%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Meh: Extração com Mehlich-1; P Rem: P remanescente.

Tabela 14. Análise química na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH CaCl ₂	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹	-----	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	%
Testemunha (Sem P)	0	4,4 b	0,3 a	1,8 b	5,4 a	32,7 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,8 a	0,1 b	2,8 a	5,8 a	48,7 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,6 a	0,2 b	2,6 a	6,0 a	42,3 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,5 b	0,2 b	2,2 a	5,8 a	38,7 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,7 a	0,1 b	2,3 a	5,9 a	39,3 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,4 b	0,3 a	1,7 b	5,6 a	29,9 b

pH: CV: 3,5%; Al: CV: 40,8%; SB: CV: 22,3%; T: CV: 9,0%; V: CV: 16,1%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 15. Teores de micronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³				
Testemunha (Sem P)	0	0,9 a	35,0 a	1,5 b	1,2 a	0,2 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	1,0 a	36,8 a	1,5 b	1,5 a	0,2 b
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	1,0 a	41,8 a	1,7 a	1,6 a	0,3 b
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	1,0 a	47,3 a	1,9 a	1,9 a	0,4 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	1,0 a	51,5 a	1,8 a	1,7 a	0,4 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,9 a	41,3 a	1,5 b	1,2 a	0,3 b

Cu: CV: 9,4%; Fe: CV: 21,2%; Mn: CV: 15,0%; Zn: CV: 28,5%; B: CV: 26,1%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 16. Teores de macronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K Resina	K Meh	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³				- cmol _c dm ⁻³ -			mg dm ⁻³
Testemunha (Sem P)	0	7,9 a	21,8 b	4,9 a	36,4 a	54,0 a	0,9 b	0,3 a	11,8 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	8,3 a	23,4 a	8,7 a	39,6 a	57,3 a	1,5 a	0,5 a	9,2 b
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	9,1 a	21,5 b	7,5 a	37,2 a	54,0 a	1,5 a	0,5 a	8,1 b
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	12,0 a	19,5 c	10,0 a	39,2 a	54,7 a	1,1 b	0,4 a	11,9 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	12,1 a	21,5 b	8,1 a	36,6 a	51,0 a	1,1 b	0,4 a	8,5 b
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	9,1 a	21,0 b	6,1 a	34,8 a	49,3 a	1,1 b	0,4 a	7,0 b

P Meh: CV: 31,2%; P Rem: CV: 4,2%; P Resina: CV: 72,3%; K Resina: CV: 7,1%; K Meh: CV: 10,3%; Ca: CV: 25,0%; Mg: CV: 38,6%; S: CV: 18,2%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Meh: Extração com Mehlich-1; P Rem: P remanescente.

Tabela 17. Análise química na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹			cmol _c dm ⁻³		%
Testemunha (Sem P)	0	4,4 b	0,2 a	1,3 b	4,8 a	27,7 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,7 a	0,1 b	2,1 a	5,2 a	41,0 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,7 a	0,2 a	2,0 a	5,3 a	37,6 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,4 b	0,2 a	1,6 b	5,3 a	30,2 b
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,5 b	0,2 a	1,6 b	5,2 a	31,8 b
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,4 b	0,2 a	1,7 b	5,4 a	30,8 b

pH: CV: 2,1%; Al: CV: 38,2%; SB: CV: 23,4%; T: CV: 9,3%; V: CV: 18,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Tabela 18. Teores de micronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

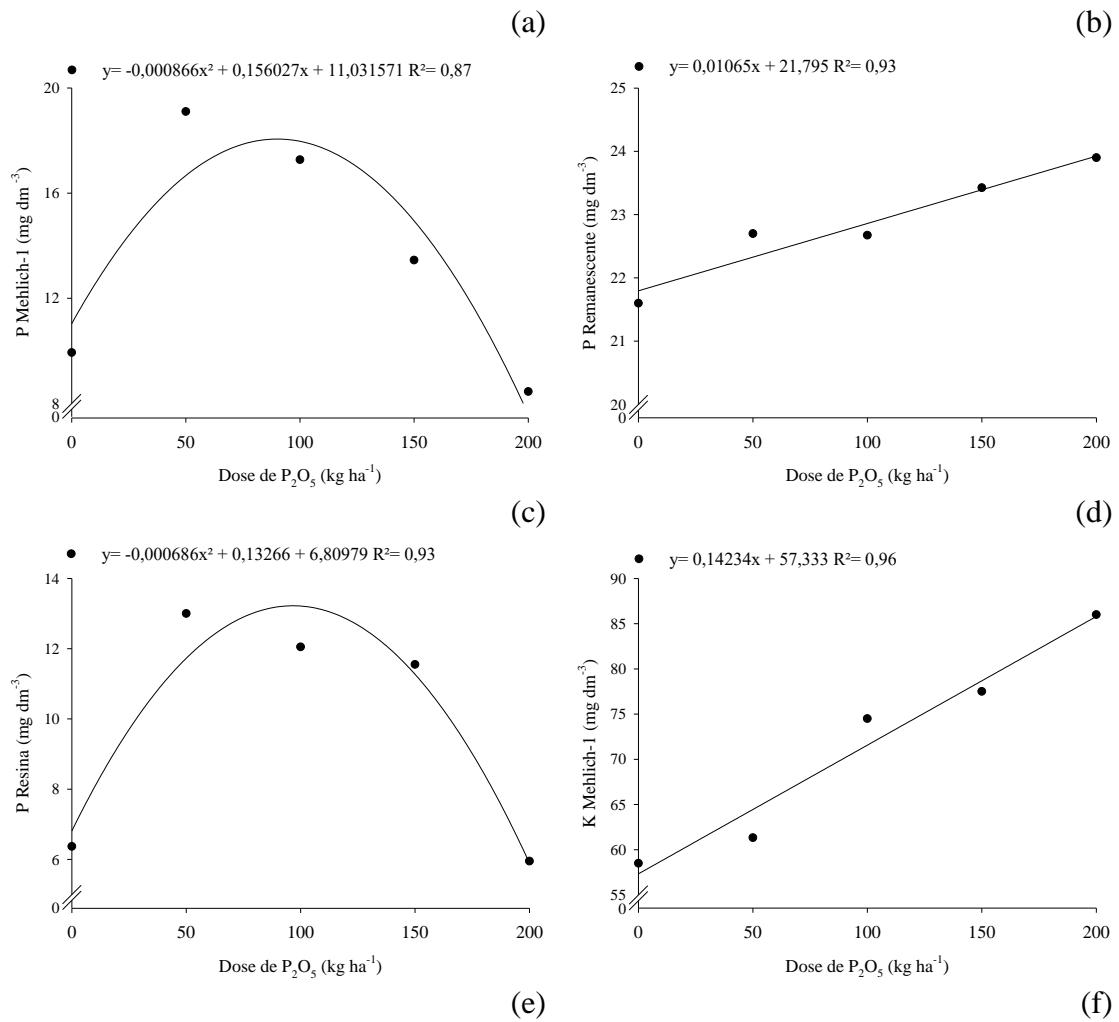
Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹			mg dm ⁻³		
Testemunha (Sem P)	0	0,9 a	30,3 c	1,1 b	0,9 a	0,3 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	0,9 a	24,8 d	0,9 b	1,4 a	0,4 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	0,9 a	34,3 b	1,3 a	1,4 a	0,4 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	1,0 a	39,5 a	1,3 a	1,3 a	0,4 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	0,9 a	40,0 a	1,4 a	1,2 a	0,4 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,9 a	41,7 a	1,3 a	1,0 a	0,4 a

Cu: CV: 12,3%; Fe: CV: 9,2%; Mn: CV: 14,6%; Zn: CV: 31,6%; B: CV: 19,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

A aplicação das doses crescentes de KP Fértil resultou em acréscimos lineares nos teores de P remanescente, K Mehlich e Ca no solo, com ganhos de $1,1 \text{ mg dm}^{-3}$, $14,2 \text{ mg dm}^{-3}$ e $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, a cada 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 adicionados através desta fonte (50% da dose recomendada) (Figuras 6b, 6d e 6e).

Modelos polinomiais quadráticos foram obtidos quanto aos teores de P Mehlich, P Resina e S, cujos melhores resultados seriam obtidos nas doses de 90 kg ha^{-1} de P_2O_5 (45% da dose recomendada), 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 (50% da dose recomendada) e 120 kg ha^{-1} de P_2O_5 (60% da dose recomendada) (ponto máximo das curvas) (Figuras 6a, 6c e 6f).



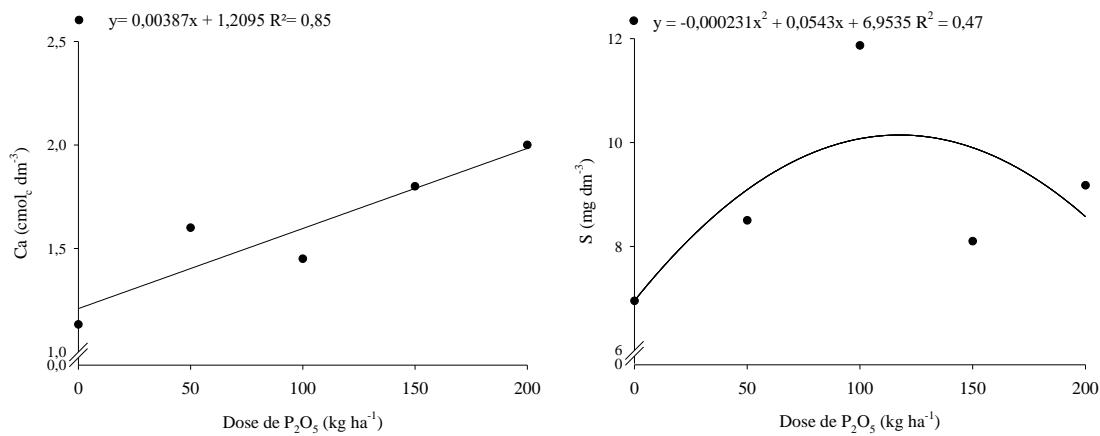
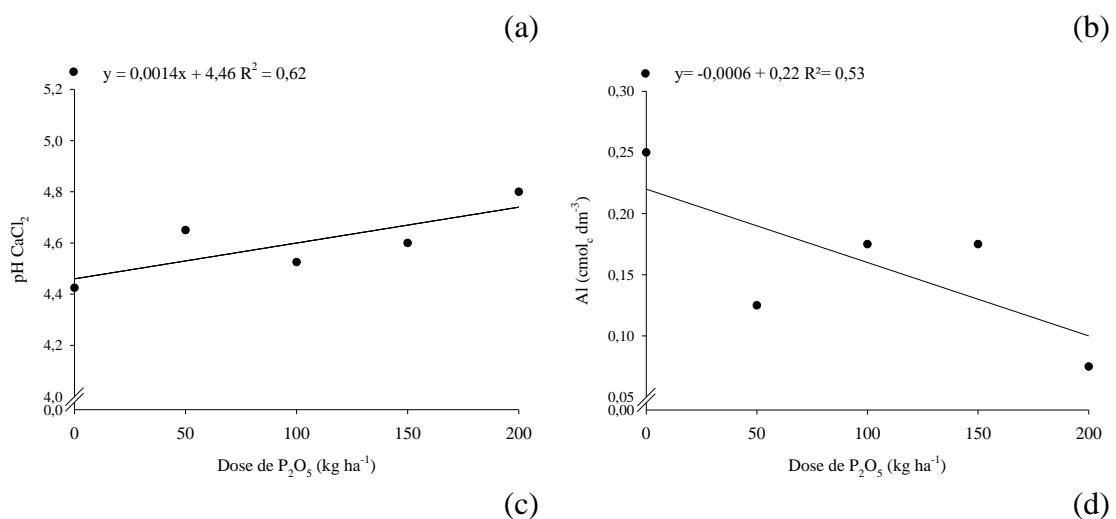


Figura 6. Teores de P (Meh) (a), P (Res) (b), P Rem (c), K (Meh) (d), Ca (e) e S (f) na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

As doses crescentes de KP Fértil resultou em acréscimos lineares nos valores de pH, soma de bases e saturação por bases no solo na camada superficial de solo (0-10 cm), com acréscimos de 0,14 unidades de pH, 0,5 cmolc dm⁻³ na SB e 8,1% na V a cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ adicionados através desta fonte (50% da dose recomendada) (Figuras 7a, 7c e 7d). Além disso, decréscimos lineares de 0,06 cmolc dm⁻³ de Al no solo são obtidos a cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ adicionados através desta fonte (50% da dose recomendada) (Figura 7b).



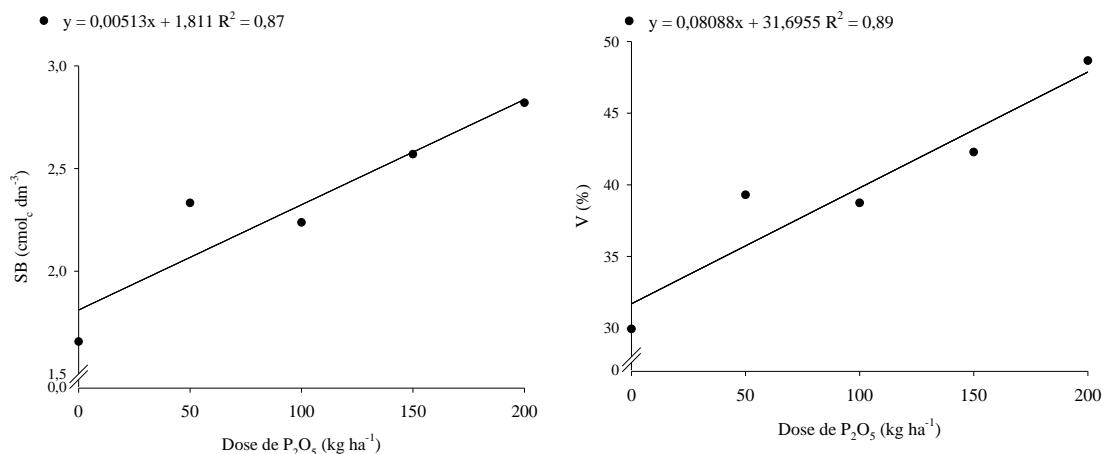


Figura 7. Valores de pH (a), Al (b), SB (c) e V (d) na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

Modelo polinomial quadrático foi obtido quanto aos teores de Mn na profundidade de 0-10 cm de solo, sendo que melhor resultado seria observado na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (50% da dose recomendada) (ponto máximo da curva) (Figura 8).

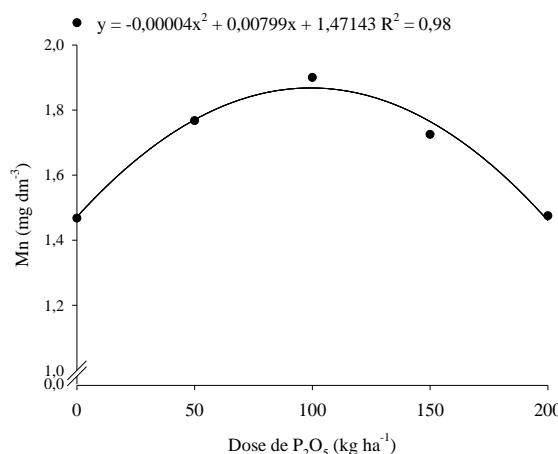


Figura 8. Teores de Mn na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

Na profundidade de 10-20 cm de solo, acréscimos lineares nos teores de K e Ca e nos valores de V foram obtidos, com ganhos de 2 mg dm⁻³ de K resina, 3,8 mg dm⁻³ de K

Mehlich, 0,2 cmol_c dm⁻³ de Ca e 5,2 V% a cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ adicionados através desta fonte (50% da dose recomendada) (Figuras 9 e 10).

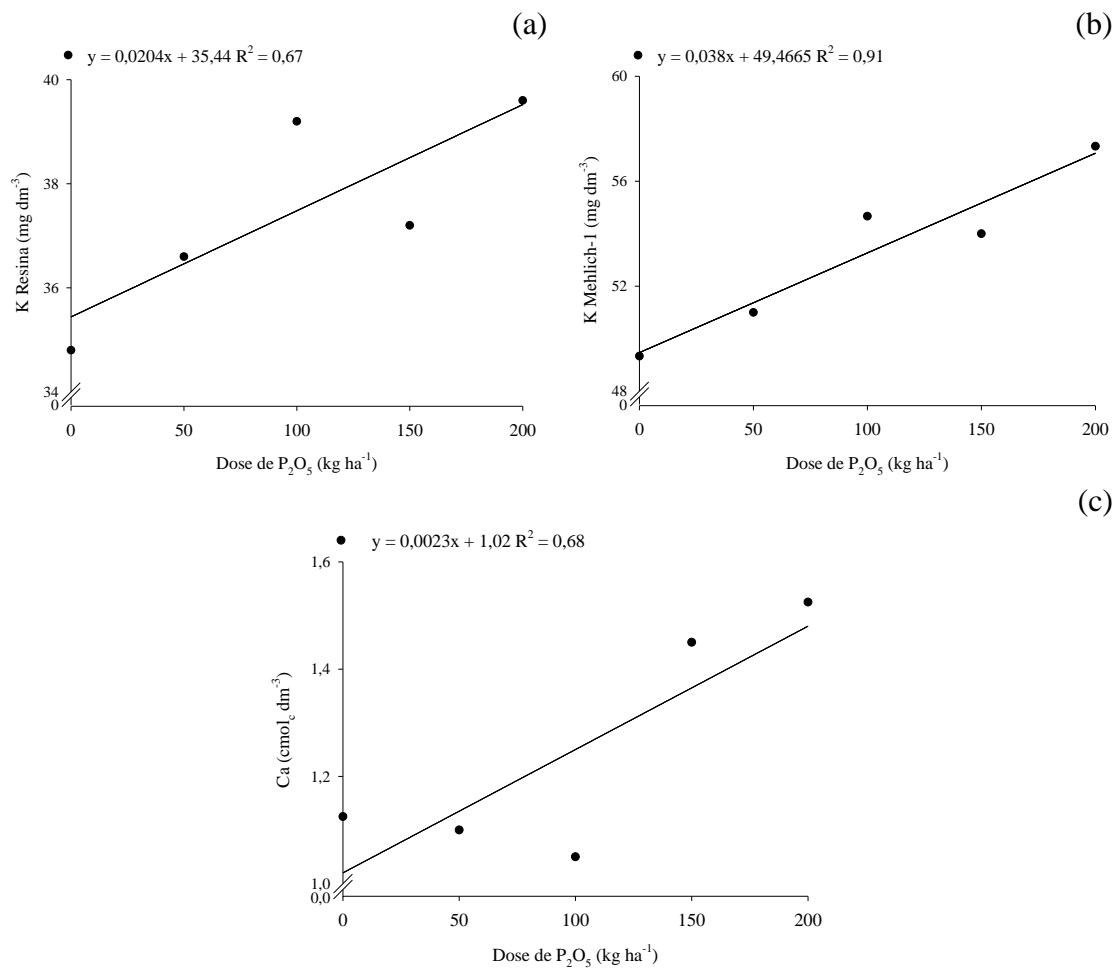


Figura 9. Teores de K (Meh) (a), K (Res) e Ca (c) na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

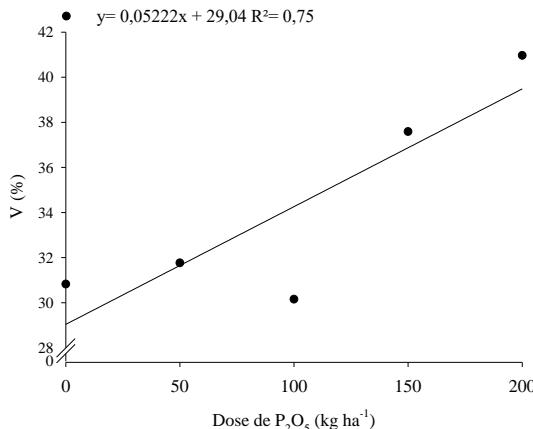


Figura 10. Valor de saturação por bases na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

Modelo polinomial quadrático foi obtido quanto ao teor de Mn na camada de 10-20 cm de solo, cujo melhor resultado seria obtido na dose de 65 kg ha⁻¹ de P₂O₅ através do KP Fértil (32% da dose recomendada) (ponto máximo da curva) (Figura 11).

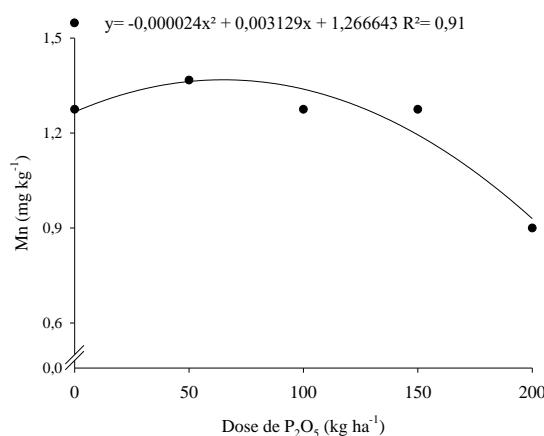


Figura 11. Teor de Mn na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) em combinação com doses de superfosfato triplo (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 04/22)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

4.4.2 2º ciclo soja (2023)

Maiores teores de P Resina, na camada de 0-10 cm de solo, foram obtidos com a aplicação do KP Fértil substituindo parcialmente a adubação fosfatada (25, 50 e 75% da dose recomendada), com ganhos de até 2,3 e 1,9 mg dm⁻³ em relação à testemunha e ao tratamento 100% mineral, respectivamente (Tabela 19). Quanto ao S, melhor resultado foi obtido com a aplicação de 75% da dose recomendada através do KP Fértil (Tabela 19).

Apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha de até 15 mg dm⁻³ de P-Mehlich, 2,0 mg dm⁻³ de P-Remanescente, 7 mg dm⁻³ de K-resina, 2,2 mg dm⁻³ de K-Mehlich, 0,2 cmol_c dm⁻³ de Ca e 0,1 cmol_c dm⁻³ de Mg, cujos resultados foram obtidos nas doses de 50 e 75% da dose recomendada (Tabela 20).

A aplicação do KP Fértil na dose de 75% da dose recomendada resultou em acréscimos nos valores de soma de bases e de saturação por bases de 0,3 cmol_c dm⁻³ e 2,4%, respectivamente, quando comparado ao tratamento que recebeu somente o fertilizante mineral (Tabela 20).

Observa-se na tabela 22 que maiores teores de P-remanescente e K-Mehlich na profundidade de 10-20 cm foram obtidos com a aplicação de 25% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil ou com a aplicação de 100% da adubação via mineral. Por outro lado, a aplicação das maiores doses de KP Fértil resultou em acréscimos de 5,2 mg dm⁻³ de P-Mehlich quando comparado ao tratamento mineral.

Ressalta-se ainda que maiores valores de saturação por base na camada de 10-20 cm foram obtidos com a aplicação do KP Fértil, independentemente da dose utilizada, com acréscimos de 8,4% em relação à testemunha e de 6,2% em relação ao tratamento 100% mineral (Tabela 23). Quanto aos micronutrientes, a aplicação das maiores doses de KP Fértil (100 e 75% da dose recomendada) resultou em teores de Cu e Zn superiores aos obtidos no tratamento somente com mineral (Tabela 24)

Tabela 19. Teores de macronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K Resina	K Meh	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	-----	mg dm ⁻³	-----	-----	-----	- cmol _c dm ⁻³ -	mg dm ⁻³	
Testemunha (Sem P)	0	9,1 a	21,3 a	3,0 b	69,2 a	66,3 a	0,9 a	0,3 a	8,1 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	24,1 a	22,8 a	3,3 b	74,4 a	66,3 a	1,0 a	0,3 a	7,3 b
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	24,7 a	23,0 a	5,3 a	76,2 a	67,7 a	1,1 a	0,4 a	9,6 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	23,8 a	23,2 a	4,9 a	74,0 a	68,5 a	0,9 a	0,3 a	7,4 b
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	21,6 a	22,3 a	4,5 a	76,2 a	67,3 a	0,9 a	0,3 a	7,5 b
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	25,1 a	22,1 a	3,4 b	71,4 a	64,0 a	0,9 a	0,3 a	7,7 b

P Meh: CV: 50,9%; P Rem: CV: 5,8%; P Resina: CV: 31,9%; K Resina: CV: 13,2%; K Meh: CV: 15,9%; Ca: CV: 14,9%; Mg: CV: 0,3%; S: CV: 12,1%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Meh: Extração com Mehlich-1; P Rem: P remanescente.

Tabela 20. Análise química na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH CaCl ₂	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹	-----	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	%
Testemunha (Sem P)	0	4,2 a	0,1 a	1,4 a	5,6 a	25,1 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,2 a	0,1 a	1,4 a	5,5 a	26,1 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,2 a	0,1 a	1,6 a	6,1 a	26,5 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,3 a	0,1 a	1,3 a	5,6 a	23,7 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,3 a	0,1 a	1,3 a	5,3 a	24,9 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,2 a	0,1 a	1,3 a	5,5 a	24,1 a

pH: CV: 1,8%; Al: CV: 38,8%; SB: CV: 14,8%; T: CV: 6,8%; V: CV: 14,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Tabela 21. Teores de micronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----				
Testemunha (Sem P)	0	0,5 a	33,8 a	1,1 a	0,4 a	0,1 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	0,6 a	35,0 a	1,2 a	0,5 a	0,1 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	0,6 a	36,3 a	1,3 a	0,5 a	0,1 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	0,5 a	38,0 a	1,3 a	0,6 a	0,1 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	0,6 a	36,7 a	1,2 a	0,5 a	0,2 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,5 a	35,7 a	1,1 a	0,5 a	0,1 a

Cu: CV: 6,1%; Fe: CV: 8,6%; Mn: CV: 21,1%; Zn: CV: 26,8%; B: CV: 17,6%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Tabela 22. Teores de macronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K Resina	K Meh	Ca	Mg	S
	kg ha ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----				- cmol _c dm ⁻³ -			mg dm ⁻³
Testemunha (Sem P)	0	7,7 a	22,6 b	2,2 a	80,1 a	50,3 b	0,5 a	0,2 b	10,6 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	8,5 a	22,3 b	2,4 a	80,7 a	58,8 a	0,9 a	0,3 a	10,1 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	10,4 a	23,2 b	2,1 a	64,5 b	47,5 b	0,8 a	0,3 a	8,4 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	5,6 a	23,6 b	2,2 a	78,9 a	59,3 a	0,7 a	0,3 a	8,6 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	5,7 a	24,9 a	2,2 a	85,2 a	64,7 a	0,7 a	0,3 a	8,3 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	5,2 a	24,8 a	3,0 a	82,5 a	64,8 a	0,7 a	0,3 a	7,8 a

P Meh: CV: 42,9%; P Rem: CV: 4,2%; P Resina: CV: 47,0%; K Resina: CV: 7,8%; K Meh: CV: 14,6%; Ca: CV: 15,6%; Mg: CV: 14,3%; S: CV: 23,4%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Meh: Extração com Mehlich-1; P Rem: P remanescente.

Tabela 23. Análise química na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil ((aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹			----- cmolc dm ⁻³ -----		%
Testemunha (Sem P)	0	4,2 a	0,2 a	0,8 b	5,0 a	16,8 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,3 a	0,2 a	1,3 a	5,2 a	25,2 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,3 a	0,3 a	1,2 a	5,0 a	23,4 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,3 a	0,2 a	1,2 a	5,2 a	22,0 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,3 a	0,3 a	1,2 a	5,4 a	22,0 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,2 a	0,2 a	1,1 a	5,7 a	19,0 b

pH: CV: 2,1%; Al: CV: 19,3%; SB: CV: 11,6%; T: CV: 5,4%; V: CV: 12,1%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

Tabela 24. Teores de micronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹			----- mg dm ⁻³ -----		
Testemunha (Sem P)	0	0,5 a	26,7 a	0,8 a	0,3 b	0,1 c
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	0,5 a	28,8 a	0,7 a	0,4 a	0,1 c
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	0,5 a	28,5 a	0,7 a	0,3 b	0,1 c
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	0,4 b	31,3 a	0,7 a	0,2 b	0,1 b
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	0,4 b	31,5 a	0,7 a	0,3 b	0,1 b
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,4 b	33,5 a	0,7 a	0,3 b	0,2 a

Cu: CV: 8,3%; Fe: CV: 10,8%; Mn: CV: 20,3%; Zn: CV: 25,5%; B: CV: 8,7%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

A aplicação das doses crescentes de P₂O₅ através do KP Fértil resultou em acréscimos lineares nos teores de Ca e nos valores de saturação por bases na profundidade de 10-20 cm de solo, com ganhos de 0,1 cmol_c dm⁻³ de Ca e 2,8% a cada 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ adicionados (50% da dose recomendada) (Figuras 12 e 13).

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos para as demais variáveis.

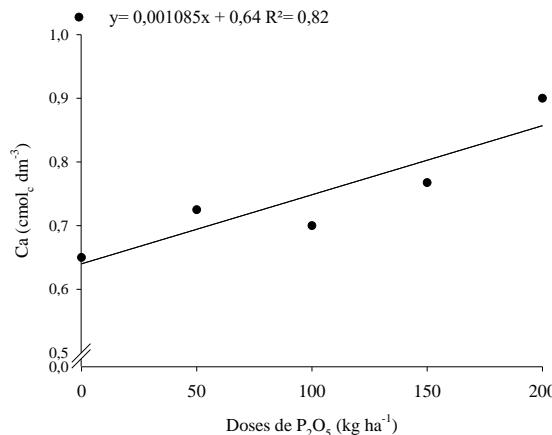


Figura 12. Teores de Ca na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

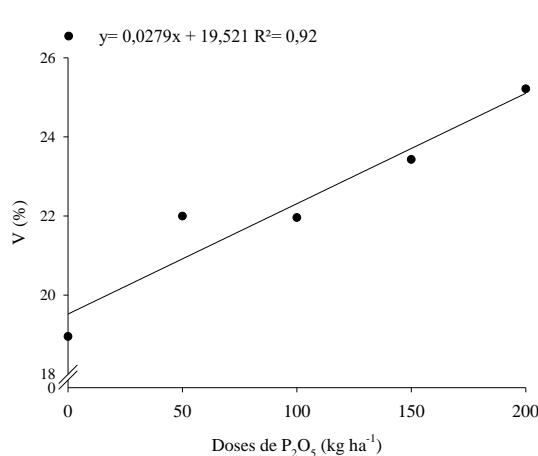


Figura 13. Valor de saturação por bases na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

4.4.3 Milho (2023)

Apesar de não observadas diferenças estatísticas, a aplicação do KP Fértil resultou em melhorias em diversos parâmetros da análise de solo após o cultivo do milho (Tabelas 25, 26, 27, 28, 29 e 30). Ao se avaliar a profundidade de 0-10 cm, a aplicação do KP Fértil resultou em acréscimos em relação à testemunha de até $1,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de P Mehlich-1, $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P Resina, $7,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de K, $0,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, $0,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos valores de SB, 5,2% na saturação por bases, $2,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de Fe e $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mn, sendo que, de modo geral, melhores resultados foram obtidos nas doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 através do KP Fértil (Tabelas 25, 26 e 27).

Na profundidade de 10-20 cm, acréscimos de até $0,9 \text{ mg dm}^{-3}$ de P Mehlich-1, $1,1 \text{ mg dm}^{-3}$ de P remanescente, $0,3 \text{ mg dm}^{-3}$ de P resina, $2,7 \text{ mg dm}^{-3}$ de S, $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos valores de SB, 7,1% nos valores de saturação por bases, e $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mn foram obtidos com a aplicação do KP Fértil, especialmente nas doses de 50 e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 através do KP Fértil (Tabelas 28, 29 e 30).

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na análise de solo após o cultivo do milho.

Tabela 25. Teores de macronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K	S	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹			mg dm ⁻³			- cmol _c dm ⁻³ -	
Testemunha (Sem P)	0	8,6 a	21,0 a	1,4 a	41,0 a	9,6 a	1,2 a	0,4 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	9,7 a	20,4 a	2,0 a	40,3 a	8,7 a	1,3 a	0,5 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	9,7 a	20,5 a	2,3 a	48,0 a	9,6 a	1,2 a	0,4 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	8,5 a	21,2 a	1,3 a	44,3 a	8,9 a	1,5 a	0,6 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	9,9 a	21,0 a	1,7 a	47,5 a	9,4 a	1,5 a	0,5 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	9,3 a	23,4 a	1,7 a	40,3 a	8,6 a	1,3 a	0,5 a

P Meh: CV: 69,6%; P Rem: CV: 9,1%; P Resina: CV: 49,3%; K: CV: 38,7%; S: CV: 14,6%; Ca: CV: 20,8%; Mg: CV: 27,3%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 26. Análise química na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH CaCl ₂	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹		----- cmol _c dm ⁻³ -----			%
Testemunha (Sem P)	0	4,1 a	0,2 a	1,7 a	4,5 a	38,7 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,1 a	0,2 a	1,9 a	4,6 a	38,9 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,1 a	0,2 a	1,7 a	4,4 a	38,2 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,2 a	0,2 a	2,1 a	4,9 a	43,9 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,1 a	0,2 a	2,0 a	5,0 a	40,5 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,1 a	0,2 a	1,9 a	4,8 a	38,7 a

pH: CV: 2,8%; Al: CV: 38,6%; SB: CV: 18,6%; T: CV: 8,7%; V: CV: 12,6%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 27. Teores de micronutrientes na profundidade de 0-10 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³				
Testemunha (Sem P)	0	0,5 a	28,3 a	1,2 a	1,5 a	0,2 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	0,5 a	28,8 a	1,5 a	1,0 a	0,2 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	0,5 a	31,0 a	1,3 a	1,3 a	0,2 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	0,5 a	28,7 a	1,6 a	0,7 a	0,2 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	0,6 a	28,5 a	1,7 a	1,2 a	0,2 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,5 a	31,3 a	1,5 a	0,6 a	0,2 a

Cu: CV: 14,6%; Fe: CV: 9,8%; Mn: CV: 31,5%; Zn: CV: 63,3%; B: CV: 35,2%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 28. Teores de macronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	P Meh	P Rem	P Resina	K	S	Ca	Mg
	kg ha ⁻¹	mg dm ⁻³				- cmolc dm ⁻³ -		
Testemunha (Sem P)	0	5,0 a	18,0 a	1,2 a	29,7 a	10,4 a	1,0 a	0,3 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	5,9 a	18,0 a	1,3 a	23,3 a	10,6 a	1,0 a	0,3 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,4 a	17,4 a	1,4 a	29,3 a	13,1 a	0,9 a	0,3 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,3 a	19,1 a	1,1 a	29,7 a	10,7 a	1,2 a	0,5 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	5,4 a	18,3 a	1,5 a	29,3 a	10,9 a	1,2 a	0,4 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,7 a	19,2 a	1,1 a	25,7 a	11,4 a	1,1 a	0,4 a

P Meh: CV: 56,2%; P Rem: CV: 9,5%; P Resina: CV: 39,1%; K: CV: 33,7%; S: CV: 14,2%; Ca: CV: 21,0%; Mg: CV: 28,1%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 29. Análise química na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	pH CaCl ₂	Al	SB	T	V
	kg ha ⁻¹			----- cmolc dm ⁻³ -----		%
Testemunha (Sem P)	0	4,3 a	0,2 a	1,3 a	3,5 a	37,6 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	4,3 a	0,2 a	1,3 a	3,5 a	37,9 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	4,3 a	0,2 a	1,3 a	3,5 a	35,2 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	4,7 a	0,1 a	1,8 a	3,9 a	44,7 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	4,5 a	0,2 a	1,7 a	4,0 a	41,5 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	4,3 a	0,2 a	1,5 a	3,7 a	41,0 a

pH: CV: 4,4%; Al: CV: 37,7%; SB: CV: 20,2%; T: CV: 8,8%; V: CV: 13,6%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05.

Tabela 30. Teores de micronutrientes na profundidade de 10-20 cm de solo cultivado com milho (híbrido MG 593, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21 e 10/22, plantio em 03/23, coleta em 08/23, aos 299 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅	Cu	Fe	Mn	Zn	B
	kg ha ⁻¹			----- mg dm ⁻³ -----		
Testemunha (Sem P)	0	0,4 a	25,8 a	0,8 a	0,6 a	0,2 a
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0	0,4 a	26,3 a	0,8 a	0,8 a	0,2 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50	0,4 a	27,0 a	0,9 a	0,9 a	0,2 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100	0,4 a	25,3 a	1,1 a	0,6 a	0,1 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150	0,4 a	25,3 a	1,0 a	0,6 a	0,2 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200	0,4 a	27,3 a	0,9 a	0,6 a	0,2 a

Cu: CV: 23,5%; Fe: CV: 9,5%; Mn: CV: 49,7%; Zn: CV: 46,9%; B: CV: 39,8%.

Médias seguidas por mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 0,05

4.5 Bioindicadores da saúde do solo

4.5.1 1º ano (2022) - Soja

A aplicação do KP Fértil, independentemente da dose utilizada, resultou em valor de CBM superior ao observado no tratamento testemunha (Tabela 22). Dentre os tratamentos, melhores resultados foram obtidos com a aplicação de 100%, 75% e 25% da dose de P₂O₅ através do KP Fértil (Tabela 31).

Tabela 31. Carbono da biomassa microbiana na profundidade de 0-10 cm em solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 10/22)

Produto	Dose de P ₂ O ₅		CBM μg C ⁻¹ g de solo ⁻¹
	kg ha ⁻¹		
Testemunha (Sem P)	0		232,8 c
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0		281,7 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50		290,0 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100		264,7 b
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150		299,0 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200		263,8 b

Enzimática total: Cv: 6,7%; CBM: Cv: 5,0%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância.

Quanto à análise enzimática, observa-se que a combinação de KP Fértil e SFT resultou em maior atividade das enzimas glicosidase e fosfatase ácida, sendo que, de modo geral, melhores resultados foram obtidos com a aplicação de 75% da dose através do KP Fértil (150 kg ha⁻¹ de P₂O₅) e 25% da dose através do SFT (50 kg ha⁻¹ de P₂O₅) (Figura 14).

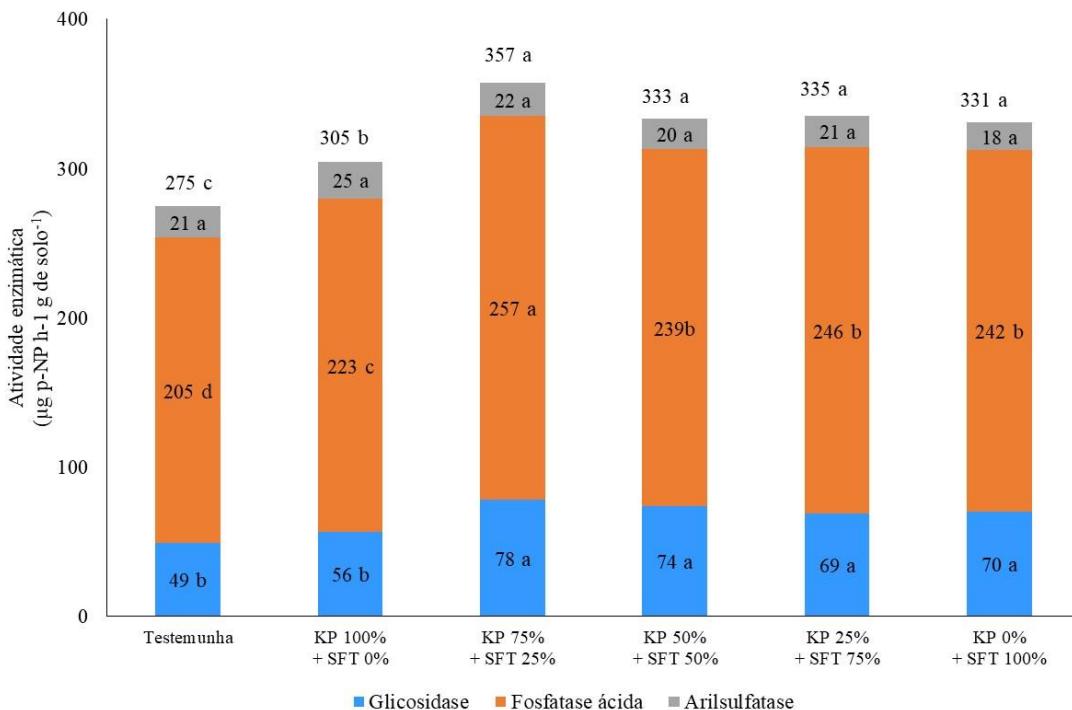


Figura 14. Atividade das enzimas glicosidase, fosfatase ácida, arilsulfatase e atividade enzimática total em solo cultivado com soja (variedade Bramax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P_2O_5 através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 50 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 09/21, plantio em 11/21, amostragem em 10/22)

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,1 de significância. CV: 7,7%.

Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos que demonstrem o efeito das doses de KP Fértil na atividade enzimática e no CBM do solo.

4.5.2 2º ano (2023) – Soja e milho

De modo geral, a aplicação do KP Fértil resultou em valores de carbono da biomassa microbiana superiores à testemunha, independentemente da dose utilizada, com acréscimos de até $57,2 \mu\text{g C}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$ (Tabela 32).

Quanto à atividade enzimática, maiores valores de beta-glicosidase, fosfatase ácida e atividade enzimática total foram obtidos com a aplicação do KP Fértil nas doses de 75, 50 e 25% da dose recomendada, bem como o tratamento mineral, com acréscimos de até $31, 52$ e $83 \mu\text{g p-NP h}^{-1} \text{ g de solo}^{-1}$, respectivamente (Figura 15). De modo geral, os melhores resultados foram obtidos nas doses de 75 e 50% da dose recomendada através do KP Fértil (Figura 15).

Tabela 32. Carbono da biomassa microbiana na profundidade de 0-10 cm em solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Produto	Dose de P ₂ O ₅		CBM μg C ⁻¹ g de solo ⁻¹
	kg ha ⁻¹		
Testemunha (Sem P)	0		232,8 b
KP Fértil 100% + SFT 0%	200 + 0		281,7 a
KP Fértil 75% + SFT 25%	150 + 50		290,0 a
KP Fértil 50% + SFT 50%	100 + 100		261,8 a
KP Fértil 25% + SFT 75%	50 + 150		286,0 a
KP Fértil 0% + SFT 100%	0 + 200		286,3 a

CBM: CV: 7,4%.

Médias seguidas por letras distintas na coluna são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

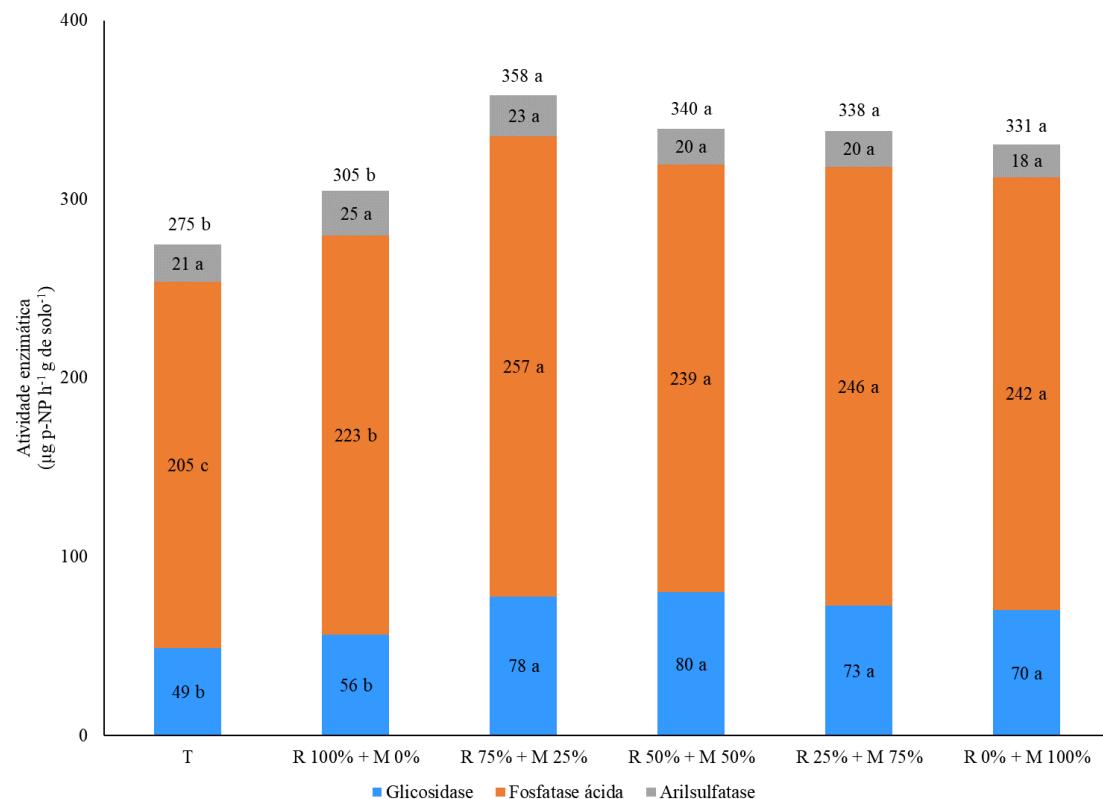


Figura 15. Atividade das enzimas glicosidase, fosfatase ácida, arilsulfatase e atividade enzimática total em solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Médias seguidas por letras distintas são diferentes pelo teste de Scott-Knott a 0,05 de significância.

As doses crescentes de KP Fértil resultaram em modelo polinomial quadrático quanto à atividade da enzima beta glicosidase, cujo melhor resultado seria observado na dose de 86 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (43% da dose recomendada) (Figura 16). Não foram obtidos ajustes de modelos de regressão significativos para as demais enzimas e para o CBM.

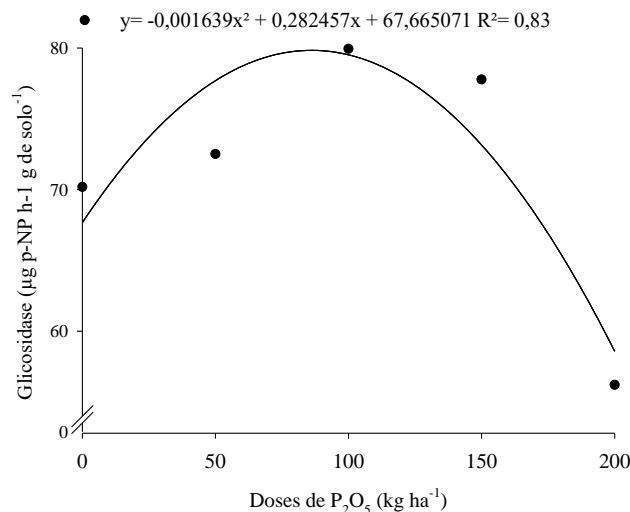


Figura 16. Atividade da enzima glicosidase em solo cultivado com soja (variedade Brasmax Desafio, Uberlândia - MG) após a aplicação de diferentes doses de P₂O₅ através do KP Fértil (aplicação à lanço aos 28 dias antes do plantio e incorporação com grade niveladora) e/ou do superfosfato triplo (aplicação na linha no dia plantio, sem incorporação) (aplicação em 10/22, plantio em 11/22, coleta em 03/23, aos 165 dias após a aplicação)

Obs: Não foi utilizada a testemunha absoluta na análise de regressão.

5. CONCLUSÕES

- a) A aplicação de 50% de dose de P_2O_5 através do KP Fértil (100 kg ha^{-1} de P_2O_5 via KP Fértil e 100 kg ha^{-1} de P_2O_5 via SFT) resulta em ganhos acumulados da soja (somatório dos dois anos) de 35 sc ha^{-1} em relação à testemunha e 13 sc ha^{-1} em relação ao tratamento somente com mineral.
- b) Quanto ao peso de mil grãos a 13% de umidade da soja, ganhos de até 15 g em relação à testemunha e de 48 g em relação ao SFT são obtidos com esta combinação.
- c) A aplicação de 75% de P_2O_5 via KP Fértil (150 kg ha^{-1} de P_2O_5 via KP Fértil e 50 kg ha^{-1} de P_2O_5 via SFT) resulta em valores de PMG 13% e produtividade do milho superiores à testemunha, com ganhos de até $34,2 \text{ g}$ e 22 sc ha^{-1} . Quando comparado ao tratamento somente com SFT, ganhos de $5,3 \text{ sc ha}^{-1}$ são obtidos.
- d) A aplicação do KP Fértil resulta em acréscimos nos teores de P, Ca, S, Cu e Zn no solo, bem como nos valores de soma de bases e saturação por bases.
- e) A aplicação do KP Fértil substituindo parcialmente a dose de P_2O_5 resulta em teores foliares de P e Mg superiores ao tratamento testemunha.
- f) A aplicação do KP Fértil, independentemente da dose utilizada, resulta em valor de CBM superior ao observado no tratamento testemunha. Quanto à análise enzimática, a combinação de KP Fértil e SFT resulta em maior atividade das enzimas glicosidase e fosfatase ácida, sendo que, de modo geral, melhores resultados são obtidos com a aplicação de 75% da dose através do KP Fértil (150 kg ha^{-1} de P_2O_5).
- g) Tais resultados demonstram o potencial do uso do KP Fértil não somente na disponibilização de P no solo, mas na correção da acidez e disponibilização de outros nutrientes ao solo.
- h) De modo geral, os melhores resultados são obtidos com a combinação de uma fonte de liberação controlada (KP Fértil) e uma fonte de P prontamente disponível.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P.; MACHADO, C.T.T. Fósforo. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: SBCS, 2007. p. 253-280.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.3 8, n. 2, 2014.
- HINSINGER, P. Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review. **Plant and Soil**, v. 237, p. 173-195, 2001.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 2002. 889p.
- MENDES, I. D. C.; SOUSA, D. M. G.; REIS JUNIOR, F. B.; LOPES, A. D. C. **Bioanálise de solo: como acessar e interpretar a saúde do solo**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2018.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.
- SILVA, V.N. **Interação de micro-organismos na solubilização de fósforo e potássio de rochas para a produção de biofertilizantes**, Natal, RN, 2013.
- SOUSA, D. M.G. de; LOBATO, E.; REIN, A.T. Adubação fosfatada. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 147-168.
- SYSTAT SOFTWARE. **SigmaPlot statistics user's guide**, version 11.2 ed. Systat Software, Inc., San Jose, Costa Rica, 2009.
- THEODORO, S. H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania em insumos agrícolas no Brasil. **Agriculturas**, v. 10, n. 1, 2013.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. de. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: MARTINS, E. S.; THEODORO, S. H. **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**. Brasília – Embrapa. p.173-181, 2010.