

Fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja

Phosphate fertilizers with technology associated in soybean culture

PEDRO PAULO ANDRADE DE SOUZA MELO

Discente do curso de Agronomia - UNIPAM
E-mail: pedropasmelo@unipam.edu.br

CARLOS HENRIQUE EITERER DE SOUZA

Professor orientador - UNIPAM
E-mail: carloshenrique@unipam.edu.br

Resumo: O fósforo (P) é um dos macronutrientes mais importantes para a planta. Esse mineral, no solo, apresenta menor disponibilidade, por ter baixa mobilidade, porém é móvel na planta. Devido a esses fatores, uma das alternativas encontradas para se evitar esta perda é a utilização de fertilizantes com tecnologia associada. Portanto, objetivou-se com este trabalho avaliar fontes fosfatadas com tecnologia associada no cultivo da soja, mostrando, dessa forma, se as fontes e doses se diferiam quanto à dinâmica de fornecimento do nutriente, de acordo com as análises avaliadas. O experimento foi conduzido na fazenda Leblon, localizada no município de Patos de Minas, MG. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial de 3x4+1 com quatro repetições. Foram três fontes fosfatadas: 09-26-16 (com NPK no mesmo grânulo) com tecnologia de polímero de liberação lenta, 04-30-10 (com NPK em grânulos separados) com tecnologia de revestimento de liberação lenta e 04-30-10 convencional. Utilizaram-se quatro doses: 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (70% da dose recomendada); 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (80% da dose recomendada); 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (100% da dose recomendada); 144 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (120% da dose recomendada), além do tratamento adicional sem aplicação de fertilizante fosfatado. Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as fontes foram comparadas pelo teste de Tukey a 0,05 de significância, e as doses ajustadas ao modelo de regressão. Para avaliação de peso de 100 grãos, teor foliar de P, fósforo no grão e produtividade, houve ajuste de regressão linear. Para a avaliação de P residual, não se obtiveram resultados significativos. A utilização dos fertilizantes com tecnologia associada demonstrou aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes. Concluiu-se que a cultura da soja é responsiva a crescentes doses de fertilizantes fosfatados com e sem tecnologia associada.

Palavras-chave: Fósforo. Polímeros. Regressão e eficiência agrônômica.

Abstract: Phosphorus (P) is one of the most important macronutrients for the plant. This mineral is less available in the soil because it has low mobility but is mobile in the plant. Due to these factors, one of the alternatives found to avoid this loss is fertilizers with associated technology. Therefore, the objective of this work was to evaluate phosphate sources with associated technology in soybean cultivation, thus showing whether the sources and doses differed in terms of the dynamics of nutrient supply, according to the analyses evaluated. On the Leblon farm - located in the municipality of Patos de Minas, MG - the experiment was conducted. In a 3x4+1 factorial scheme with four repetitions was used a randomized block design (BCT). There were

three phosphate sources: 09-26-16 (with NPK in the same granule) with slow-release polymer technology, 04-30-10 (with NPK in separate granules) with slow-release coating technology, and conventional 04-30-10. With four doses; 84 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (70% of the recommended dose); 96 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (80% of the recommended dose); 120 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (100% of the recommended dose); 144 kg ha⁻¹ of P₂O₅ (120% of the recommended dose) plus additional treatment without application of phosphate fertilizer. Data were subjected to analysis of variance, and when significant, sources were compared by Tukey test at 0.05 significance and doses adjusted to the regression model. There was a linear regression fit for the evaluation of 100 grain weight, foliar P content, grain phosphorus, and yield. For the evaluation of residual P, no significant results were obtained. The fertilizers used with associated technology demonstrated an increase in the agronomic efficiency of the fertilizers. It was concluded that soybean is responsive to increasing doses of phosphate fertilizers with and without associated technology.

Keywords: Phosphorus. Polymers. Regression and agronomic efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill), hoje cultivada em ampla escala mundial, é muito diferente dos seus ancestrais que lhe deram origem. Nos seus primórdios, a soja era caracterizada como uma planta rasteira e habitava a costa leste da Ásia, principalmente a região norte da China, de onde essa cultura é originada. Sua evolução ocorreu de plantas oriundas de cruzamentos naturais entre duas espécies de soja selvagem, que foram domesticadas e melhoradas por cientistas da antiga China (DALL'AGNOL, 2007). No Brasil, foi introduzida por Gustavo Dutra, em 1882, no Estado da Bahia (D'UTRA, 1882).

A cultura é um dos principais cereais produzidos no mundo, e no Brasil ela se caracteriza como a principal cultura do agronegócio brasileiro. De acordo com o primeiro levantamento da safra de grãos 2020/21, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a produção está estimada em 268,7 milhões de toneladas, superando em cerca de 11 milhões de toneladas o recorde de 257,7 milhões de toneladas da última safra, mantendo o Brasil como principal produtor da oleaginosa do mundo, na frente dos EUA. O estudo também aponta crescimento na área cultivada, na ordem de 1,3%. A expectativa é que, nessa safra, o plantio ocupe cerca de 66,8 milhões de hectares, o que corresponde a 879,5 mil hectares a mais (CONAB, 2021).

Para se atingir a produtividade desejada, a planta necessita de boa fertilidade do solo, com oferta de nutrientes nas dosagens corretas, para que não haja desequilíbrio nos sistemas internos da planta. Um dos nutrientes de suma importância é o fósforo (P), estando presente em componentes de estrutura das células e metabólicos móveis armazenadores de energia, como ATP (SOUZA, 2014).

O fósforo (P) atua na fotossíntese, na respiração, no armazenamento e transferência de energia, na divisão e crescimento celular, entre outros processos que ocorrem na planta. O fósforo promove a rápida formação e crescimento do sistema radicular, melhora a qualidade dos frutos, hortaliças e grãos, sendo vital para a formação da semente (NOVAIS *et al.*, 2007).

Em relação ao fósforo no solo, além de se encontrar em baixas concentrações, sua disponibilidade para as plantas se torna baixa, em virtude das reações de adsorção

pelos óxidos e de precipitação com ferro e alumínio (BEDIN *et al.*, 2003). O fósforo se encontra na forma P não lábil em sua maior parte no solo, sendo necessário, dessa maneira, que se aumente a fração desse mineral disponível para plantas. Segundo Dobermann *et al.* (2002), foi observado grande aumento da proporção das frações mais lábeis de P inorgânico à medida que foi adicionado fósforo ao solo, por meio da aplicação de adubos minerais solúveis. Os mesmos autores observaram que a adição de fertilizantes pouco solúveis, como os fosfatos naturais, pouco contribuiu para que ocorresse o aumento das frações de P lábil.

Portanto, torna-se importante desenvolver e validar estratégias que têm como visão melhorar a eficiência da adubação fosfatada. Dentre as alternativas, uma que vem se destacando cada vez mais é o revestimento dos fertilizantes fosfatados com polímeros, que consiste em revestir os grânulos dos fertilizantes com camadas que combinem minerais e polímeros especiais que potencializam a eficiência dos fertilizantes, acarretando um melhor aproveitamento desse nutriente pelas plantas (SOUZA, 2014).

Pelo fato de se buscar cada vez mais tecnologias que visem ao aumento da produtividade, menores custos de produção, o presente trabalho teve como objetivo avaliar fontes fosfatadas com tecnologia associada no cultivo da soja, mostrando, dessa forma, se as fontes e doses se diferiam quanto à dinâmica de fornecimento do nutriente, verificando qual fonte e dose se sobressaiu em virtude da produtividade e das variáveis analisadas.

2 METODOLOGIA

O experimento foi conduzido na fazenda Leblon, com as coordenadas 18°40'39.7"S 46°32'18.2"W, localizada no município de Patos de Minas, MG. O solo da área tem características de área de lavoura comercial sob Latossolo Vermelho Distrófico Argiloso. A área do experimento denota histórico plantio de cana de açúcar. Antes da implantação do experimento, foi coletado solo e, posteriormente, foram realizadas análises químicas. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial de 3x4+1 com quatro repetições.

Tabela 1: Análise química do solo sobre palhada de cana de açúcar na cultura da soja, em Patos de Minas, MG, 2021

pH	M.O.	P-rem	P-meh	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al	SB	t	T	V	m
águ a	dag kg ⁻¹	mg L ⁻¹	mg dm ⁻³					cmol _c dm ⁻³					%
6,4	3,9	5,17	2,68	17,6 5	4,4	1,7	0,04	1,9	6,15	6,19	8,05	76,3 8	0,65

Extratores: pH em água, K e P-assimilável por Mehlich⁻¹, P-remanescente, teores de Ca²⁺, Mg²⁺ e Al³⁺ trocáveis extraídos por KCl; acidez potencial por Acetato de Cálcio; matéria orgânica total (MOS) por titulometria, segundo metodologia da Embrapa (2009).

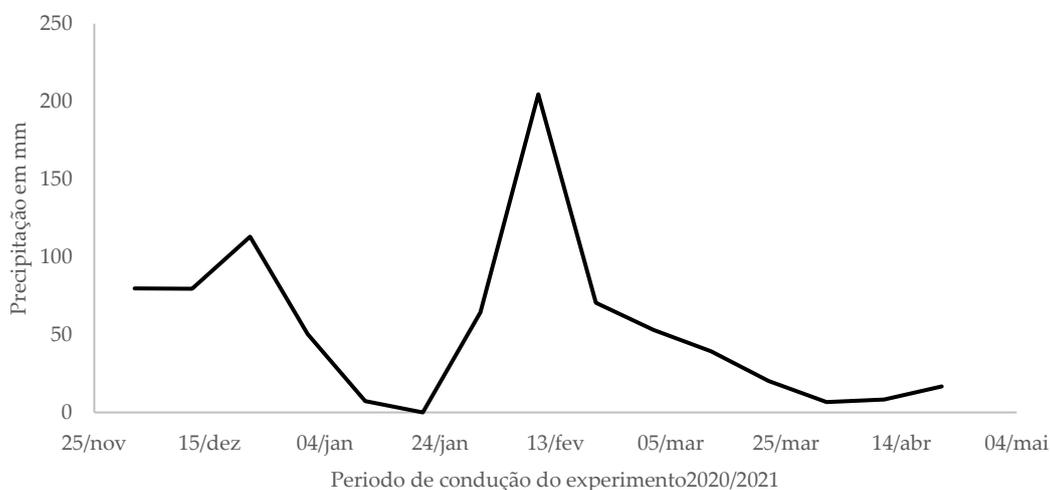
Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Foram utilizadas três fontes de fertilizantes fosfatados: 09-26-16 (com NPK no mesmo grânulo) com tecnologia de polímero de liberação lenta; 04-30-10 convencional sem nenhuma tecnologia associada; 04-30-10 (com NPK em grânulos separados) com tecnologia de revestimento de liberação lenta. Foram empregadas quatro doses — 84 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (70% da dose recomendada), 96 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (80% da dose recomendada), 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (100% da dose recomendada), 144 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (120% da dose recomendada) —, mais o tratamento adicional sem aplicação de fertilizante fosfatado.

A aplicação dos tratamentos foi realizada em sulcos de semeadura abertos de forma manual e realizada, posteriormente, a semeadura por meio de plantadeira mecânica. Foi utilizada a cultura da soja (*Glycine max*), com a cultivar BR MG 232, de ciclo precoce, com uma população de 300.000 plantas ha⁻¹. O experimento foi conduzido de acordo com as práticas usuais adotadas em lavoura comercial que propõe utilização de 15 sementes por metro linear da cultivar utilizada. As parcelas foram constituídas por cinco metros de comprimento, com cinco linhas com espaçamento de 0,5 m entre linhas, totalizando uma área de 12,5m².

Para adubação fosfatada, foram realizados apenas os tratamentos utilizados. Para adubação potássica na semeadura e na cobertura, aplicaram-se 50 kg ha⁻¹ de K₂O sob forma de fertilizante cloreto de potássio, respectivamente. Na figura 1, pode-se observar como foi o índice de chuva no local do experimento, em que os valores estão em mm, e foram somados de 10 em 10 dias.

Figura 1: Gráfico pluviométrico de chuvas na área onde foi instalado o experimento com início em 2020 e término em 2021, Patos de Minas, MG, 2021.



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Para a realização das avaliações, excluíram-se as duas linhas da bordadura (uma de cada lado da parcela) mais 0,5 metro no início e no final da parcela, totalizando uma área útil de 6 m². Para a análise de fósforo foliar, foi feita a coleta de 10 trifólios totalmente desenvolvidos, de forma aleatória dentro da área útil de cada parcela no estágio R5 da cultura. Foi feita a secagem do material obtido nas coletas, que foi moído

em moinho tipo Willey. Posteriormente realizou-se a metodologia de espectrometria com amarelo de vanadato, proposta pela Embrapa (2009).

Após as plantas atingirem a maturação fisiológica completa, realizou-se a coleta de todas as plantas da parcela útil, para realização das avaliações de produtividade final e eficiência agrônômica e comparou-se a produtividade dos tratamentos. Para isso, as vagens foram debulhadas, e todos os grãos pesados em balança digital de precisão 0,01g. Para a realização da estimativa de produtividade, os valores adquiridos foram extrapolados para a área de um hectare.

Para se realizar a análise de fósforo residual no solo, foi feita a coleta do solo após a colheita das plantas na linha de plantio dentro da área útil da parcela. Após essa coleta, o solo foi levado para laboratório e secado. Após esse processo, foi feito o peneiramento do solo. Em seguida, foi separada quantidade padrão de cada tratamento com auxílio de cachimbo e espátula. Seguiu-se metodologia proposta por Claessen (1997), em que foi feita a leitura das amostras com auxílio do espectrofotômetro.

Já para a análise de fósforo no grão, após a estimativa de produtividade, coletou-se quantidade determinada de amostra de cada tratamento. Amostras foram moídas em moinho tipo Willey. Seguiu-se metodologia de espectrometria com amarelo de vanadato (CARMO, 2000).

O Índice de Eficiência Agrônômica (IEA) foi calculado com base no diferencial de produção obtido entre as fontes comparadas com a mesma dose de P total aplicada. Calcular este índice é muito simples e tem a vantagem de se exigir apenas uma dose de P para a fonte de referência. Não há necessidade da curva de resposta (GOEDERT, 1986). Para se calcular o IEA, utiliza-se o cálculo abaixo:

$$IEA (\%) = \frac{Y_2 - Y_1}{Y_3 - Y_1} \times 100$$

Y₁= produção obtida pela parcela onde não houve aplicação de fósforo;

Y₂= produção obtida pela fonte que está sendo testada, com a dose X₂;

Y₃= produção obtida pela fonte de referência (convencional) na mesma dose (X₂) de P total aplicado.

Após a coleta dos dados, estes foram submetidos à análise de variância e, quando significativas, as médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 0,05, e as doses de P foram ajustadas pelo modelo de regressão utilizando-se software SISVAR (FERREIRA, 2000).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a análise estatística, não houve diferença significativa para a variável de fósforo residual no solo. Isso pode ser explicado pelo fato de a coleta do solo ter sido feita após a colheita do experimento. Houve pouco tempo para que os tratamentos pudessem ter sofrido diferenças significativas.

Resultado semelhante foi encontrado por Santini (2019): foram comparados superfosfato triplo com eficiência aumentada e superfosfato triplo convencional com diferentes doses. De acordo com as variáveis que eles analisaram em relação a P residual

no solo, não houve nenhuma diferença estatística tanto para as fontes quanto para as doses.

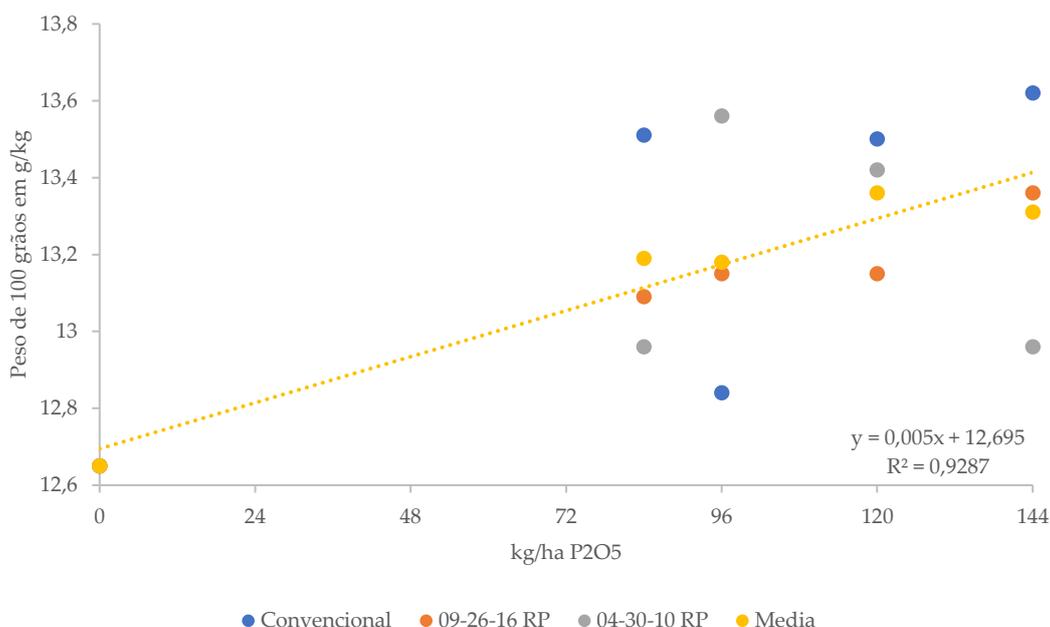
Tabela 2: Peso de 100 grãos de soja (g) diante da aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021

Fontes	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha)					Media
	0	84	96	120	144	
Convencional	12,65 a	13,51 a	12,84 a	13,5 a	13,62 a	13,22
09-26-16 RP	12,65 a	13,09 a	13,15 a	13,15 a	13,36 a	13,08
04-30-10 RP	12,65 a	12,96 a	13,56 a	13,42 a	12,96 a	13,11
Media	12,65	13,19	13,18	13,36	13,31	
CV (%)	3,6					
DMS	0,814					

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Figura 2: Peso de 100 grãos de soja (g) submetidos a doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

O aumento das doses de P₂O₅ aplicadas nos tratamentos gerou efeito direto em relação ao peso de 100 grãos na cultura da soja (FIGURA 1), independentemente da fonte utilizada, como mostra a Tabela 2. O aumento apresentado foi significativo para o modelo ajustado de forma linear crescente, com aumento médio de 5%. Os valores observados variaram de 0,66 g a cada 100 grãos, nos tratamentos sem aplicação e com aplicação de 144 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Resultados diferentes foram encontrados por Araújo, Sampaio e Medeiros (2005), que observaram que não houve ajuste significativo de modelo relacionado ao

peso de 100 grãos em função das doses de fósforo. Os valores encontrados pelos autores foram acima da média nacional.

Já Costa Leite *et al.* (2017) relataram comportamento quadrático para a safra 13/14, redução linear na safra 14/15 e não ajuste de regressão para a safra 15/16. O maior peso de grãos foi obtido no primeiro ano de cultivo com a dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅, obtendo-se 17,39 g, enquanto a dose zero de fertilizante fosfatado foi de 15,3 g, demonstrando resposta positiva desse nutriente para a variável analisada.

Souza (2014) obteve comportamento semelhante entre as fontes de MAP e MAP revestidos com polímeros, em que houve um ajuste de regressão quadrática com o ponto máximo na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

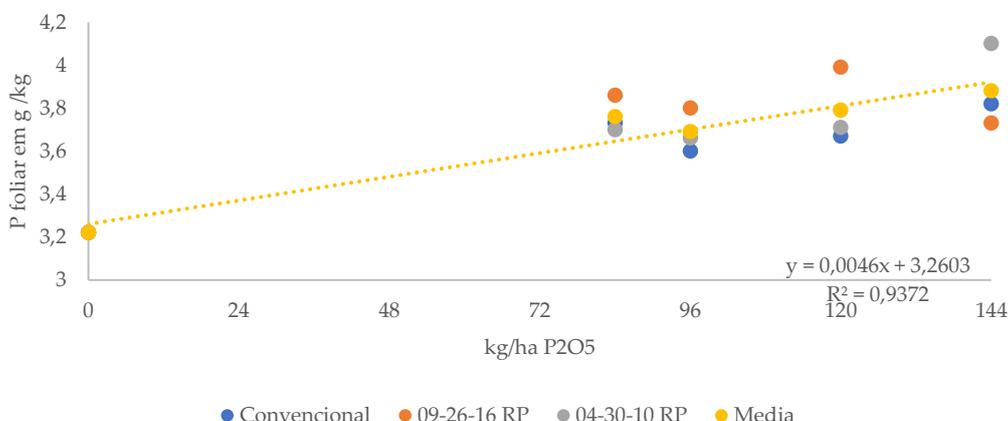
Tabela 3: Teores de fósforo foliar (g kg) e fósforo no grão (g kg), diante da aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021

Características avaliadas	Fontes	Doses de P ₂ O ₅ (kg há)					Media
		0	84	96	120	144	
P foliar	Convencional	3,22 a	3,73 a	3,60 a	3,67 a	3,82 a	3,61
	09-26-16 RP	3,22 a	3,86 a	3,80 a	3,99 a	3,73 a	3,72
	04-30-10 RP	3,22 a	3,70 a	3,66 a	3,71 a	4,10 a	3,68
	Media	3,22	3,76	3,69	3,79	3,88	
P grão	Convencional	4,36 a	4,31 a	4,27 a	4,31 a	4,55 a	4,36
	09-26-16 RP	4,36 a	4,52 a	4,31 a	4,73 b	4,97 b	4,58
	04-30-10 RP	4,36 a	4,35 a	4,58 a	4,32 a	4,45 a	4,41
	Media	4,36	4,39	4,39	4,45	4,66	
	CV (%)P foliar	8,31					
	CV (%)P grão	5,05					
	DMS P foliar	0,524					
	DMS P grão	0,386					

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Figura 3: Teores de fósforo foliar (g kg) submetidos a doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

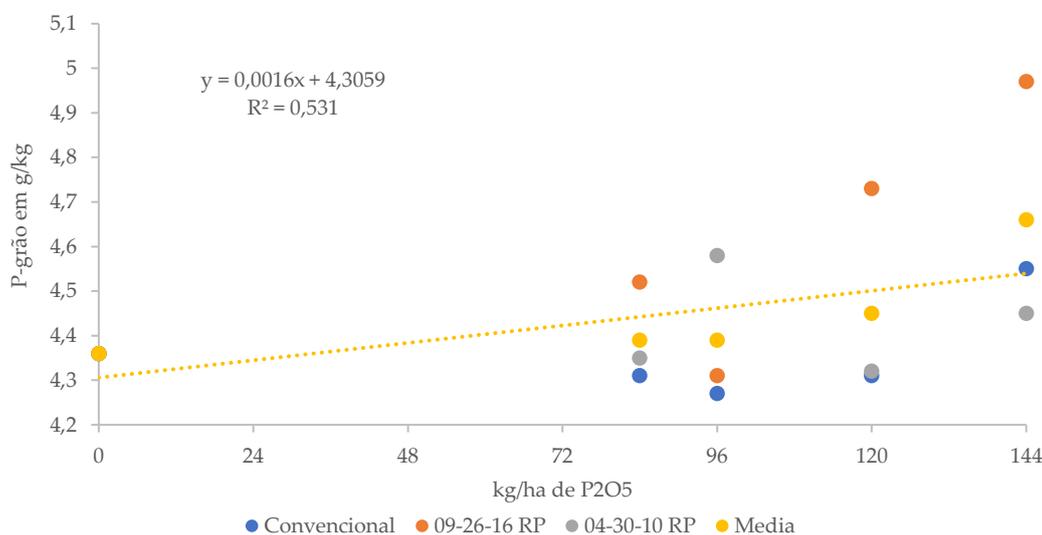
Para os valores de fósforo foliar, pode-se observar que estes somente foram influenciados pelas doses de P, não se diferenciando em relação às fontes de fertilizantes fosfatados (TABELA 3). Dessa forma, as doses tiveram ajuste de modelo de regressão linear, como pode ser observado na Figura 2. Verificou-se aumento médio de 13 % em relação à dose sem fertilizantes fosfatados, crescente em função das demais doses, com diferença de 0,66 g kg de P da dose zero com a dose de 144 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

Os teores foliares de fósforo (P) na cultura da soja variaram de 3 a 3,8 g kg⁻¹. Essa variação se encontra dentro da faixa de adequada para a cultura da soja (KURIHARA *et al.*, 2013). Com esses valores dentro da faixa recomendada e com aumento crescente de forma linear, foi mostrado que, em relação aos teores foliares, a cultura da soja respondeu de forma crescente linear.

Resultado semelhante foi encontrado por Salgado (2017), que observaram aumento linear da análise foliar de P; com as crescentes doses, eles obtiveram resultados responsivos de forma linear, mostrando, dessa forma, que a cultura foi altamente responsiva à aplicação de crescentes doses de fertilizantes fosfatados.

As concentrações dos nutrientes nas folhas de soja se mantiveram dentro das classes de teores consideradas adequadas para o desenvolvimento dessas culturas (MALAVOLTA, 2006). Esse aumento nos teores de P nas folhas pode ter sido consequência do aumento nas concentrações desse nutriente no solo e devido ao maior crescimento radicular da planta respondendo a adubação fosfatada.

Figura 4: Teor de fósforo no grão (g kg) submetido a doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Já para o teor de fósforo no grão, somente a fonte 09-26-16 com polímero mostrou resultados significativos. Somente nessa fonte houve significância para as doses em que houve ajuste de modelo de regressão linear. Nas demais fontes, não houve significância para as doses (TABELA 3; FIGURA 3). Pode ser observado que mesmo o valor de R² sendo, respectivamente, baixo, foi a equação que melhor se enquadrou na

variável analisada. Como esse fertilizante possui os nutrientes todos em mesmo grânulo e com o auxílio do polímero, isso pode ter acarretado um maior fornecimento de nutrientes para a planta, dessa forma tendo maior acúmulo de nutrientes no grão.

Segundo Prado (2008), a deficiência de P nas plantas afeta a distribuição de ATP, causando falta de energia, comprometendo os processos de biossíntese da planta, divisão celular, ocorrendo decréscimo acentuado na síntese de RNA, amido e lipídios, levando à deficiência proteica acentuada. Por esses motivos, ocorre a diminuição da concentração de P no grão e nas partes reprodutivas, acarretando peso menor nos grãos.

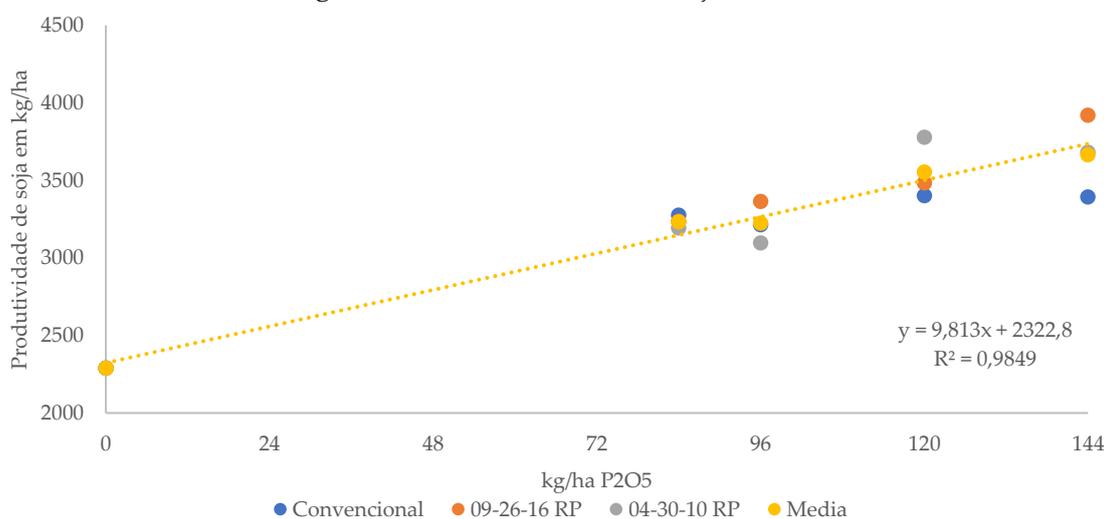
Tabela 4: Índice de produtividade (kg ha⁻¹) e Índice de Eficiência Agronômica (IEA) em porcentagem, diante da aplicação de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021

	Fontes	Doses de P ₂ O ₅ kg/ha					Media
		0	84	96	120	144	
Produtividade	Convencional	2291 a	327,07 a	3215,5 a	3403 a	3395 a	3116,3
	09-26-16 RP	2291 a	3237,0 a	3365,0 a	3484 a	3922 a	3318,6
	04-30-10 RP	2291 a	3183,5 a	3097,5 a	3778 a	3682 a	3147,6
	Media	2291	3232,5	3226	3555	3666,33	
IEA	IEA _{09-26-16 RP} (%)	****	96	116	107	148	
	IEA _{04-30-10 RP} (%)	****	91	87	134	125	
	CV (%)	10,26					
	DMS	562,96					

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Figura 5: Índice de produtividade (kg ha⁻¹) submetidos a doses de fertilizantes fosfatados com tecnologia associada na cultura da soja, Patos de Minas, MG, 2021



Fonte: dados da pesquisa, 2021.

Para o índice de produtividade, foi constatado aumento de forma linear de acordo com as crescentes doses de fósforo, mas entre as fontes não houve diferença significativa (TABELA 4, FIGURA 4). O acréscimo médio na produtividade foi de 9,8 kg

ha⁻¹ de soja para cada kg ha de P₂O₅ aplicado, independentemente da fonte utilizada. Isso pode ser explicado por a área ser de cana de açúcar e primeiro ano de cultivo de soja, assim ela foi muito responsiva às crescentes doses de fósforo. Já Alcantara Neto (2010) observou que o rendimento de grãos de soja apresentou uma resposta quadrática às doses de fósforo aplicadas. A partir do modelo de regressão adotado, verificou-se que o rendimento máximo foi de 2.614 kg ha⁻¹, obtido na dose de 94,8 kg ha de P₂O₅.

Sch lindwein e Giannello (2005) também encontraram resposta quadrática quanto ao rendimento de grãos de soja à aplicação de doses de P, em solos de Cerrado. Respostas a doses muito altas de P são comuns em solos com baixos teores de fósforo disponível. Esses valores podem ser explicados pelo fato de a resposta da cultura ao uso de fertilizantes depender do estado de fertilidade do solo. Logicamente, solos de baixa fertilidade apresentam alta probabilidade de resposta ao uso de nutrientes.

Alguns trabalhos realizados com fertilizantes revestidos com polímeros demonstraram que, de maneira geral, um dos fatores que confere melhor desempenho das plantas à aplicação desses fertilizantes é o fornecimento regular e contínuo de nutrientes às plantas, reduzindo as perdas como por lixiviação (N e K) e adsorção, como o caso do P (SHAVIV, 2001; MENDONÇA *et al.*, 2007).

Mesmo sendo constatada uma diferença de 8,7 sacos a mais por hectare entre os fertilizantes convencionais e 09-26-16 com polímero na dose de maior fornecimento de fósforo, estatisticamente não houve diferença entre as fontes. Dessa forma, foi constatado somente um ajuste de modelo de regressão linear para as doses de P.

Segundo Bastos *et al.* (2010), o aumento de doses de P no solo acarreta aumento do coeficiente de difusão do elemento devido à saturação progressiva da superfície da adsorção, o que resulta no aumento da concentração de P na parte aérea, disponibilizando, assim, mais nutriente para a planta e fazendo com que ela possa oferecer maior resposta em função da adubação fosfatada. O fósforo é um nutriente essencial para que ocorra a fotossíntese, respiração, ATP, divisão celular e em processos de transferência de energia (STAUFFER; SULEWSKI, 2003).

Para o índice de Eficiência Agronômica (IEA), a utilização desses fertilizantes na área apresentou índice não muito significativo em comparação com as fontes com tecnologia associada em relação à fonte convencional. O maior índice foi observado na dose de 144 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com a fonte de 09-26-16 RP, que apresentou percentual de 148%. Em média, o IEA das fontes foi de 117 % e 109 % nas respectivas fontes 09-26-16 RP e 04-30-10 RP, independentemente da dose utilizada. Mesmo com esses valores encontrados, a utilização dos fertilizantes com tecnologia associada demonstrou aumento da eficiência agronômica dos fertilizantes.

De acordo com Raij (2011), o uso de forma eficiente de fertilizantes, além de proporcionar maior produtividade, pode reduzir os custos de produção, refletindo uma margem de forma positiva para a safra. Verificando-se os fertilizantes e comparando-se as fontes e doses testadas, foi observado que a diferença do índice de eficiência agronômica que houve entre os fertilizantes não foi significativa, desta forma os fertilizantes se mostraram equivalentes.

Devido a todos esses fatores, o manejo da fertilidade do solo em relação ao uso de P deve ser planejado com perspectiva a longo prazo, pois os valores de custo de adubação variam muito por safra, dessa forma o produtor deve avaliar bem qual melhor

manejo a ser utilizado, buscando sempre maximizar a produção com o intuito de aumentar a lucratividade. Desta forma, o produtor deve avaliar bem o custo e benefício dos fertilizantes fosfatados de acordo com a produção e características da área com histórico e clima que são fatores de suma importância para se tomar as decisões de manejo (RESENDE *et al.*, 2006).

4 CONCLUSÃO

A cultura da soja é responsiva a crescentes doses de fertilizantes fosfatados com e sem tecnologia associada, em relação à produtividade e às variáveis analisadas. A utilização dos fertilizantes com tecnologia associada demonstrou aumento da eficiência agrônômica dos fertilizantes. A recomendação de fertilizantes para a área deve ser com a dose mais alta devido à baixa concentração de P no solo. Em relação ao fertilizante a ser recomendado, deve-se avaliar o custo/benefício.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA NETO, F. *et al.* Adubação fosfatada na cultura da soja na microrregião do Alto Médio Gurguéia. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, p. 266-271, 2010.
- ARAÚJO, W. F.; SAMPAIO, R. A.; MEDEIROS, R. D. Resposta de cultivares de soja à adubação fosfatada. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 129-134, 2005.
- BASTOS, A. L. *et al.* Respostas do milho a doses de fósforo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 285-491, 2010.
- BEDIN, I. *et al.* Fertilizantes fosfatados e produção de soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 639-646, 2003.
- CARMO, C. A. F. de S. *et al.* **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000.
- CLAESSEN, Marie ELISABETH Christine. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa CNPS, 1997.
- CONAB- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Estimativa de área cultivada com soja na safra 2020/2021**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. 08 out. 2021.
- COSTA LEITE, R. *et al.* Adubação fosfatada na soja durante três safras consecutivas na nova fronteira agrícola brasileira. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 4, p. 28-35, 2017.
- DALL'AGNOL, A. *et al.* **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Londrina: Embrapa Soja, 2007.

DOBERMANN, A.; GEORGE, T.; THEVS, N. Phosphorus fertilizer effects on soil phosphorus pools in acid upland soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 66, n. 02, p. 652-660, 2002.

D'UTRA, G. Soja. **Jornal do Agricultor**, v. 4, n. 168, p. 185-6, 1882.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília- DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. **Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria**, v. 45, n. 2000, p. 235, 2000.

GOEDERT, W. J., SOUSA, D. M. G. de, LOBATO, E. Fósforo. *In*: GOEDERT, W. J. **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Brasília: Embrapa CPAC, 1986. p. 129-166.

KURIHARA, C. H.; VENEGAS, V. H. A.; NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; STAUT, L. A. Faixas de suficiência para teores foliares de nutrientes em algodão e em soja, definidas em função de índices DRIS. **Revista Ceres**, v. 60, p. 412-419, 2013.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MENDONÇA, V. *et al.* Fertilizante de liberação lenta na formação de mudas de maracujazeiro amarelo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 2, p. 344-348, 2007.

NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do Solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008.

RAIJ, B. Van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011.

RESENDE, A. V. *et al.* Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 453-466, 2006.

SALGADO, A. A. B. B. **Efeito residual da aplicação de gesso na eficiência da adubação fosfatada para a sucessão trigo-soja em sistema plantio direto.** 2017, 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

SANTINI, J. M. K. *et al.* Dinâmica do fósforo em solos de alta fertilidade: fontes e doses fosfatadas em cultivo da cultura de soja no Cerrado. **Científic@-Multidisciplinary Journal**, v. 6, n. 2, p. 14-23, 2019.

SCHLINDWEIN, J. A.; GIANELLO, C. Doses de Máxima Eficiência Econômica de fósforo e potássio para culturas cultivadas no sistema de Plantio Direto. **Revista Plantio Direto**, n. 85, p. 20-25, 2005.

SHAVIV, A. Advances in controlled release fertilizers. **Advances in Agronomy**, New York, v. 71, p. 1-49, 2001.

SOUZA, J. R. *et al.* Eficiência do fósforo revestido com polímeros na cultura da soja. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 3, n. 4, p. 1-9, 2014.

STAUFFER, M. D.; SULEWSKI, G. Fósforo: nutriente essencial para a vida. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 102, p. 1-2, 2003.