

## Curva de disponibilidade de fósforo no solo

### Phosphorus availability curve in the soil

### Curva de disponibilidad de fósforo en el suelo

Recebido: 05/10/2024 | Revisado: 14/10/2024 | Aceitado: 15/10/2024 | Publicado: 20/10/2024

#### **Kleso Silva Franco Júnior**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6807-8889>  
Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado, Brasil  
E-mail: klesojr@gmail.com

#### **Márcio de Souza Dias**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8367-1341>  
Secretaria de Estado de Educação de Minas Gerais, Brasil  
E-mail: marciodesouzadias2013@gmail.com

#### **Vinícius Muniz Ribeiro**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8699-9075>  
Centro Superior de Ensino e Pesquisa de Machado, Brasil  
Email: vmr20@outlook.com

#### **Resumo**

Objetivou-se com esta pesquisa avaliar a eficiência de diferentes fontes de fósforo no desenvolvimento de milho (Híbrido Brevant B2401PWU) em um solo previamente cultivado com pastagens no município de Paraguaçu/MG. O delineamento foi em blocos casualizados com esquema fatorial 3x2, considerando três fontes de fósforo (Fosbio<sup>®</sup>BR, Fosfato natural, Mono Amônio Fosfato - MAP) e um controle, com e sem a presença de milho. O solo foi preparado e as parcelas, de 4 m<sup>2</sup>, receberam tratamentos diferenciados para elevar o teor de fósforo a 15 mg/dm<sup>3</sup>. A semeadura do milho ocorreu em março de 2024, e as fontes de fósforo foram aplicadas logo após. A análise do solo foi realizada semanalmente, utilizando 10 subamostras por parcela para avaliar a disponibilidade de fósforo ao longo de oito semanas. Os dados foram submetidos a análise estatística pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Os resultados indicaram que o Fosbio<sup>®</sup>BR apresentou os maiores valores médios de disponibilidade de fósforo, especialmente nas semanas 2 e 3, sugerindo uma liberação controlada do nutriente, favorecendo o desenvolvimento do milho. O Fosfato natural mostrou uma rápida liberação inicial de fósforo, seguida por uma diminuição acentuada, o que indica uma menor eficiência ao longo do tempo. O MAP apresentou uma liberação moderada e estável de fósforo, enquanto os controles mantiveram baixos níveis de disponibilidade do nutriente, conforme esperado. Ressalta-se que apesar do Fosbio<sup>®</sup> ter dado bom resultado a dosagem é grande para aplicar e isso pode ser um complicador operacional e de custos.

**Palavras-chave:** Pó de rocha; Rochagem; Fertilizantes fosfatados; Disponibilidade de nutrientes.

#### **Abstract**

The objective of this research was to evaluate the efficiency of different sources of phosphorus in the development of corn (Brevant Hybrid B2401PWU) in soil previously cultivated with pastures in the municipality of Paraguaçu/MG. The design was in randomized blocks with a 3x2 factorial scheme, considering three sources of phosphorus (Fosbio<sup>®</sup>BR, Fosfato natural, Mono Ammonium Phosphate - MAP) and a control, with and without the presence of corn. The soil was prepared and the plots, measuring 4 m<sup>2</sup>, received different treatments to increase the phosphorus content to 15 mg/dm<sup>3</sup>. Corn was sown in March 2024, and phosphorus sources were applied shortly after. Soil analysis was performed weekly, using 10 subsamples per plot to assess phosphorus availability over eight weeks. The data were subjected to statistical analysis using the Scott-Knott test at 5% probability. The results indicated that Fosbio<sup>®</sup>BR presented the highest average values of phosphorus availability, especially in weeks 2 and 3, suggesting a controlled release of the nutrient, favoring corn development. Fosfato natural showed a rapid initial release of phosphorus, followed by a sharp decrease, which indicates lower efficiency over time. MAP showed a moderate and stable release of phosphorus, while controls maintained low levels of nutrient availability, as expected. It should be noted that although Fosbio<sup>®</sup> has given good results, the dosage is large to apply and this can be an operational and cost complication.

**Keywords:** Rock dust; Rocking; Phosphate fertilizers; Nutrient availability.

#### **Resumen**

El objetivo de esta investigación fue evaluar la eficiencia de diferentes fuentes de fósforo en el desarrollo del maíz (Brevant Hybrid B2401PWU) en suelo previamente cultivado con pastos en el municipio de Paraguaçu/MG. El diseño

fue en bloques al azar con esquema factorial 3x2, considerando tres fuentes de fósforo (Phosbio®BR, Fosfato natural, Fosfato Monoamónico - MAP) y un control, con y sin presencia de maíz. Se preparó el suelo y las parcelas, de 4 m<sup>2</sup>, recibieron diferentes tratamientos para aumentar el contenido de fósforo a 15 mg/dm<sup>3</sup>. El maíz se sembró en marzo de 2024 y poco después se aplicaron fuentes de fósforo. El análisis del suelo se realizó semanalmente, utilizando 10 submuestras por parcela para evaluar la disponibilidad de fósforo durante ocho semanas. Los datos fueron sometidos a análisis estadístico mediante la prueba de Scott-Knott al 5% de probabilidad. Los resultados indicaron que Fosbio®BR presentó los valores promedio más altos de disponibilidad de fósforo, especialmente en las semanas 2 y 3, sugiriendo una liberación controlada del nutriente, favoreciendo el desarrollo del maíz. El fosfato natural mostró una rápida liberación inicial de fósforo, seguida de una fuerte disminución, lo que indica una menor eficiencia con el tiempo. MAP mostró una liberación moderada y estable de fósforo, mientras que los controles mantuvieron niveles bajos de disponibilidad de nutrientes, como se esperaba. Cabe señalar que aunque Fosbio® ha dado buenos resultados, la dosis es grande para aplicar y esto puede ser una complicación operativa y de costos.

**Palabras clave:** Polvo de roca; Balanceo; Fertilizantes fosfatados; Disponibilidad de nutrientes.

## 1. Introdução

O milho possui grande relevância econômica devido às suas variadas aplicações, que abrangem desde a alimentação animal até o uso em setores de alta tecnologia, de fato, a utilização do grão de milho como ração animal constitui a maior parte do consumo global desse cereal, correspondendo a aproximadamente 70% do total (Duarte et al., 2021), sendo cultivado em diversas regiões do mundo, onde Estados Unidos, China e Brasil são os três maiores produtores respectivamente. Dados da CONAB (2024) a safra total brasileira 2023/2024 foi estimada em mais de 115 milhões de toneladas, incluindo neste levantamento das três safras.

É importante destacar que o milho é também utilizado na produção de biocombustíveis, e que nos últimos anos tem sido identificados componentes funcionais de grande importância na sua composição que atuam na prevenção de doenças cardiovasculares e degenerativas, como os carotenóides (zeaxantina e a luteína), além de estimular o sistema imunológico e agir como antioxidante (Menegaldo, 2011). Há cultivares de milho QPM (Quality Protein Maize) com maior teor de proteínas e aminoácidos essenciais, como lisina e triptofano, em comparação com o milho comum. O grão de milho possui cerca de 4% de óleo, mas algumas variedades podem alcançar até 5%. O óleo, extraído do gérmen, contém ácidos graxos insaturados que ajudam a reduzir o colesterol e prevenir doenças cardiovasculares, além de tocoferóis, que são antioxidantes da vitamina E (Menegaldo, 2011).

O fósforo (P) é considerado um nutriente com baixa mobilidade no solo, devido à sua "fixação" pelos minerais presentes na argila. Esse elemento é particularmente relevante em solos tropicais, que possuem altos níveis de óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) e alumínio (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), com os quais o fósforo tem grande afinidade. Em solos tropicais, normalmente, apenas entre 20% e 30% do fósforo aplicado como fertilizante é utilizado pelas culturas anuais, tornando necessária a aplicação de quantidades que geralmente excedem em muito o que essas culturas extraem (Raij, 2011).

Em solos altamente intemperizados, o fósforo ligado a compostos orgânicos representa de 25% a 35% do total de fósforo (Oliveira et al., 2002). Nesses solos, é comum encontrar baixos níveis de fósforo disponível para as plantas, devido ao fato de que a capacidade de dreno de fósforo dos solos intemperizados supera sua capacidade de fornecimento. Isso faz com que o solo seja mais eficiente do que as plantas em competir pelo fósforo aplicado na forma de fertilizantes solúveis (Novais; Smyth, 1999).

O fósforo (P) é um elemento químico crucial para a fertilidade dos solos brasileiros e deve ser incluído no planejamento de fertilizantes pelos produtores, junto com nitrogênio e enxofre. Como macronutriente essencial, o fósforo é vital para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo especialmente importante no início do cultivo. Os solos brasileiros, predominantemente latossolos, são pobres em fósforo, o que limita a produção das plantas, que absorvem fósforo da solução do solo. Nesta solução, o fósforo disponível é apenas uma fração do total presente no solo, podendo ser fornecido

pela hidrólise do fósforo inorgânico (Pi) ou pela mineralização do fósforo orgânico (Po). Essas frações se transformam lentamente em compostos de fósforo mais estáveis (Novais, Smyth e Nunes 2007).

Portanto, o fornecimento de fósforo para as plantas depende das quantidades de P lábil, das taxas de transformação entre P lábil e formas mais estáveis, e da mineralização do reservatório de P no solo.

Desta forma o objetivo deste trabalho foi o de avaliar a disponibilidade de fósforo para o milho ao longo de 8 semanas na camada de 0-10 cm do solo.

Este artigo faz parte de uma linha de pesquisa de fósforo no solo, a qual gerou alguns artigos que segue essa linha, e por isso conta com alguns pontos comuns, onde avaliou-se diferentes camadas de solo, nesse artigo os dados referem-se a dinâmica do fósforo na camada de 0 a 10 cm.

## 2. Metodologia

A Metodologia Científica é importante para que os estudos tenham reprodutibilidade e sejam aceitos pela comunidade acadêmica e científica mundial. No presente estudo realizou-se uma pesquisa experimental, de natureza mista: parte em campo e parte laboratorial e de natureza qualitativa e quantitativa (Pereira et al., 2018) e, com uso da estatística descritiva (Shitsuka et al., 2014) com uso valores médios, máximos, mínimos para variáveis como é o caso da temperatura e outros.

O experimento foi instalado em uma propriedade rural no município de Paraguaçu/MG, coordenadas 422601.44 m E / 7602266.72 m S, o clima classificado como Cwa (Köppen; Geiger, 1928), temperatura média anual de 20,7 °C, com uma pluviosidade média anual de 1.227 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2021), no ano de 2023. A gleba estava sendo cultivada com pastagens a vários anos, onde foi realizado o preparo do solo com grade aradoura e posteriormente grade niveladora em 17/01/2024.

Realizou-se a amostragem de solo inicial com coleta de 20 sub amostras para compor a amostra a cada profundidade 0 - 10 cm (Tabela 1) sendo então feito as demarcações das parcelas experimentais, as quais tiveram uma área de 4 metros quadrados por parcela, distantes uma das outras em 1 metro de cada um dos lados, em delineamento em blocos casualizados (DBC), com 4 repetições por tratamento em esquema fatorial 3x2, sendo três fontes de fósforo (com e sem milho) e controle (com e sem milho).

**Tabela 1** - Análise de solo.

pH	MO%	P Res	Ca	Mg	K	H+Al	SB	CTC	V	m
CaCl <sub>2</sub>		mg.dm <sup>3</sup>	mmolc/dm <sup>3</sup>		%	%				
4	2.2	2.2	40	19	5,1	45	64.1	109.1	58.7	0

Fonte: Dados da pesquisa.

Em 02/03/2024 foi realizada a semeadura do Milho (Híbrido Brevant B2401PWU) com estande de 60 mil plantas por hectare, com distância entre linhas de 50 cm.

As aplicações das fontes de fósforo foram realizadas a lanço no dia 09/03/2024, sendo as fontes P e respectivas doses realizadas de acordo com cada tratamento (Tabela 2) onde todas as dosagens foram calculadas visando a elevação dos teores de P no solo ao nível de 15 mg/dm<sup>3</sup>.

**Tabela 2** - Tratamentos e fontes de P.

Tratamentos	Fontes de P	Kg/ha <sup>-1</sup>	Cultivar
T1	Fosbio®BR 24	1400	Com milho
T2	Fosbio®BR 24	1400	Sem milho
T3	Fosfato natural	1400	Com milho
T4	Fosfato natural	1400	Sem milho
T5	Mono Amônio Fosfato	120	Com milho
T6	Mono Amônio Fosfato	120	Sem milho
T7/Controle I	Zero P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	Com milho
T8/Controle II	Zero P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	Sem milho

Fonte: Dados da pesquisa.

No dia 24/03/24 realizou-se o controle de plantas daninhas com aplicação de herbicida Glifosato 2 l ha<sup>-1</sup> + 3 litros ha<sup>-1</sup> de Atrazine + 1 ha<sup>-1</sup> de óleo mineral, 200 litros de calda por hectare.

As coletas de solo para análise, foram realizadas semanalmente nas parcelas experimentais, sendo 10 sub amostras por parcela experimental nas camadas de 0 – 10 cm.

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade no software Sisvar (Ferreira, 2014).

### 3. Resultados e Discussão

A Tabela 3 apresenta dados de temperatura e precipitação registrados entre 2 de março e 10 de maio de 2024. Durante este período, a temperatura média variou em torno de 22,6 °C, com mínimas médias de 17,9 °C e máximas médias de 29,5 °C. A precipitação média foi baixa, com um valor de 1,8 mm. A maior parte dos dias não apresentou precipitação significativa, exceto alguns dias esparsos com chuvas mais intensas, como em 27 e 28 de março. Os dados indicam um período relativamente seco e com temperaturas moderadas. No período de desenvolvimento do trabalho houve pouca precipitação com má distribuição, cujo acumulado foi 145 mm.

**Tabela 3** - Temperatura e precipitação.

Data	Temperatura Média (°C)	Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Precipitação (mm)
02/03/2024	25.0	19.7	30.3	0.0
03/03/2024	24.0	18.1	32.5	0.0
04/03/2024	24.5	19.7	30.9	0.0
05/03/2024	22.9	19.7	30.2	0.3
06/03/2024	22.1	19.8	29.5	1.2
07/03/2024	24.3	20.3	31.0	0.0
08/03/2024	25.0	20.9	30.3	0.0
09/03/2024	24.4	20.5	29.3	0.9
10/03/2024	24.3	19.7	28.1	6.3
11/03/2024	25.5	20.7	31.5	0.0
12/03/2024	24.9	20.0	32.2	0.0
13/03/2024	25.1	20.3	32.7	0.0
14/03/2024	24.7	18.9	34.1	0.0

15/03/2024	25.0	19.3	33.6	0.0
16/03/2024	26.3	20.6	34.3	0.0
17/03/2024	25.4	20.3	33.5	0.0
18/03/2024	25.0	20.8	33.1	0.0
19/03/2024	23.4	19.9	33.4	0.0
20/03/2024	25.6	20.5	31.6	7.8
21/03/2024	23.7	20.9	30.9	0.3
22/03/2024	22.2	17.8	30.3	0.3
23/03/2024	19.6	16.9	24.2	1.2
24/03/2024	20.1	17.9	23.8	0.3
25/03/2024	20.7	18.6	25.0	6.6
26/03/2024	20.5	19.1	23.4	0.0
27/03/2024	19.4	18.7	20.5	19.2
28/03/2024	19.9	18.4	21.5	46.5
29/03/2024	19.9	19.3	24.2	4.2
30/03/2024	20.2	19.7	23.7	9.3
31/03/2024	20.6	17.9	30.5	0.3
01/04/2024	22.9	15.6	30.6	0.0
02/04/2024	21.1	16.6	29.1	0.0
03/04/2024	23.4	18.0	32.3	0.0
04/04/2024	23.8	20.1	31.8	0.0
05/04/2024	23.3	19.2	31.4	0.0
06/04/2024	22.6	17.3	29.5	0.0
07/04/2024	22.0	16.9	28.0	0.0
08/04/2024	21.4	16.6	28.6	0.0
09/04/2024	22.0	18.3	27.8	2.1
10/04/2024	22.1	16.0	28.3	0.0
11/04/2024	23.5	19.2	28.6	0.0
12/04/2024	22.5	20.0	25.9	15.0
13/04/2024	21.8	18.9	25.2	0.0
14/04/2024	22.0	17.3	28.1	0.0
15/04/2024	22.0	19.2	27.0	0.0
16/04/2024	22.5	18.9	28.8	0.0
17/04/2024	23.2	17.5	29.6	0.0
18/04/2024	22.3	19.5	28.9	0.0
19/04/2024	19.0	17.3	23.5	0.0
20/04/2024	18.9	15.4	26.9	0.0
21/04/2024	19.3	13.5	27.2	0.3
22/04/2024	19.3	12.7	28.4	0.0
23/04/2024	19.7	12.9	29.4	0.0
24/04/2024	21.8	14.1	30.2	0.0
25/04/2024	21.3	16.1	30.1	0.0
26/04/2024	20.5	17.3	27.2	0.0
27/04/2024	24.4	18.6	28.4	0.0
28/04/2024	22.4	15.5	30.3	0.0
29/04/2024	21.0	16.6	29.4	0.0
30/04/2024	21.4	15.6	30.2	0.0
01/05/2024	22.2	14.5	30.7	0.0

02/05/2024	22.6	15.4	31.0	0.0
03/05/2024	21.8	15.6	31.5	0.0
04/05/2024	22.0	15.3	30.6	0.0
05/05/2024	21.5	14.8	29.6	0.0
06/05/2024	20.8	14.1	27.6	0.0
07/05/2024	20.9	15.5	27.3	0.0
08/05/2024	20.4	14.9	27.1	0.0
09/05/2024	20.1	13.8	28.2	0.0
10/05/2024	20.9	14.7	28.3	0.0

---

Fonte: Estação meteorológica da fazenda.

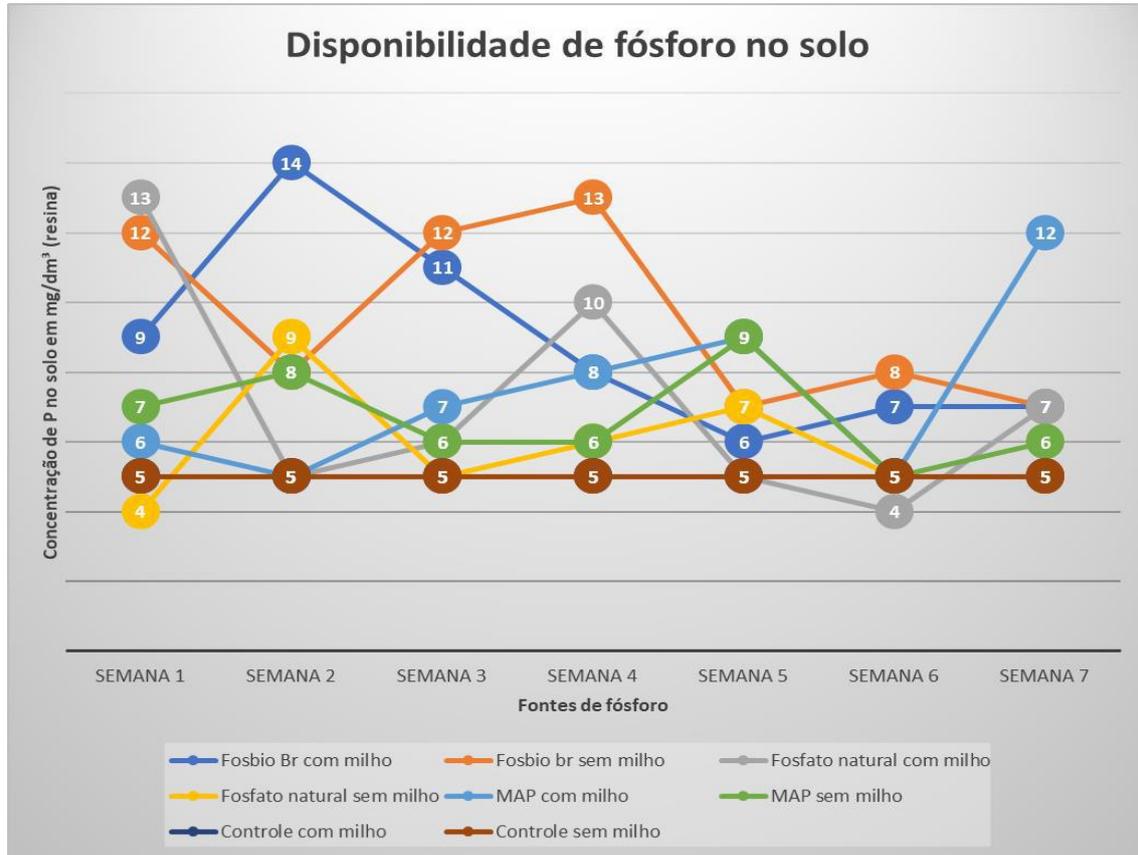
A análise dos dados ao longo das semanas na presença de milho (Tabela 4 e Figura 1) revela uma variação significativa no desempenho das diferentes fontes de fósforo. Fosbio<sup>®</sup>BR apresentou os maiores valores médios ao longo do tempo, especialmente nas semanas 2 e 3, onde atingiu valores significativamente maiores em comparação com as outras fontes (14 e 11, respectivamente). Isso sugere que Fosbio<sup>®</sup>BR pode ter uma maior eficiência na disponibilização de fósforo para as plantas, possivelmente devido à sua formulação ou à forma como o fósforo é liberado no solo. Segundo Vieira (2023), a disponibilidade de fósforo no solo é crítica para o desenvolvimento inicial das plantas, e fontes que promovem uma liberação controlada podem melhorar o crescimento radicular e a absorção de nutrientes. Nesse sentido Otoni e Sousa (2024) ao avaliar diferentes fontes de fósforo na cultura do milho obtiveram que o fertilizante MAP revestido com polímero promoveu melhores resultados em diâmetro de caule, altura de planta, massa seca de parte aérea e massa seca do sistema radicular, quando comparado com os fertilizantes tradicionais superfosfato simples, superfosfato triplo e fosfato monoamônico convencional. Já em trabalho semelhante conduzido por Gazola et al. (2013) o uso de MAP revestido não incrementou significativamente os parâmetros produtivos na cultura do milho, mostrando que a dinâmica do fósforo no solo é extremamente complexa variando de solo para solo quanto a sua capacidade de fixação.

**Tabela 4** - Disponibilidade de fontes de P(resina) (mg/dm<sup>3</sup>) ao longo do tempo, na camada de solo 0-10 cm, com e sem milho.

Fonte de P	Presença de Milho	Inicial	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	Média
<b>Fosbio®BR</b>	+	5	9,0 Bb	14 Aa	11 Aa	8,0 Bb	6 Bb	7 Aa	7,0 Ba	8 Aa	8,7 Aa
<b>Fosbio®BR</b>	-	5	12 Aa	8,0 Bb	12 Aa	13 Aa	7 Ba	8 Aa	7,0 Ba	8 Aa	9,3 Ab
<b>Fosfato natural</b>	+	5	13 Aa	5,0 Cb	6,0 Ba	10 Aa	5 Ba	4 Ba	7,0 Ba	6 Bb	7,0 Ba
<b>Fosfato natural</b>	-	5	4,0 Cb	9,0 Ba	5,0 Ba	6,0 Cb	7 Ba	5 Ba	5,0 Cb	8 Aa	6,2 Bb
<b>MAP</b>	+	5	6,0 Ba	5,0 Cb	7,0 Ba	8,0 Ba	9 Aa	5 Ba	12 Aa	7 Aa	7,4 Ba
<b>MAP</b>	-	5	7,0 Ba	8,0 Ba	6,0 Ba	6,0 Cb	9 Aa	5 Ba	6, Bb	6 Ba	6,7 Bb
<b>Controle I</b>	+	5	5,0 Ca	5,0 Ca	5,0 Ba	5,0 Ca	5 Bb	5 Ba	5,0 Ca	5 Ba	5,0 Ca
<b>Controle I</b>	-	5	5,0 Ca	6,0 Ca	5,0 Ba	5,0 Ca	5 Ba	6 Ba	5,0 Ca	5 Ba	5,2 Ca
<b>CV%</b>		8,3	9,8	11,4	9,2	5,5	3,3	11,9	<b>3,1</b>	<b>6,9</b>	

\*Letras maiúsculas diferentes na coluna se diferem estatisticamente entre as fontes de P e as minúsculas entre o cultivo ou não de milho, pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.  
 Fonte: Dados da pesquisa.

**Figura 1** - Disponibilidade de fontes de P (resina) (mg/dm<sup>3</sup>) ao longo do tempo, na camada de solo de 0-10 cm com e sem milho.



Fonte: Dados da pesquisa.

Em contraste, o desempenho do fosfato natural foi mais variável, com um pico inicial na semana 1, seguido por uma redução acentuada nas semanas subsequentes. Esse comportamento pode indicar que o Fosfato natural tem uma liberação rápida de fósforo, que não se sustenta ao longo do tempo, resultando em um desempenho inferior em semanas posteriores. Assim, Sousa et al. (2014), Scholz e Wellmer (2015) e Withers, et al. (2018) destacam que fontes de fósforo com liberação lenta podem ser mais eficientes em solos com alta capacidade de fixação de fósforo, onde o nutriente pode rapidamente se tornar indisponível para as plantas.

O controle I, que manteve valores constantes ao longo do tempo (em torno de 5), serve como uma linha de base importante para entender os efeitos das fontes de fósforo testadas. A constância dos valores do controle indica que a ausência de uma fonte adicional de fósforo resulta em um desenvolvimento limitado, como seria esperado, o que corrobora com o trabalho de Harger et al. (2007) onde a ausência de fósforo proporcionou menor massa seca de parte aérea e menores teores de fósforo foliar na cultura do milho. A análise de Wendling et al. (2008) sobre a importância da fertilização mostra que o uso de adubos é essencial para evitar limitações nutricionais que podem comprometer o rendimento das culturas.

Em relação aos dados apresentados referentes a ausência de milho, ao longo das semanas, é possível verificar que Fosbio®BR obteve um desempenho superior em relação às demais fontes de fósforo, com valores consistentemente mais altos, especialmente nas semanas 1, 3 e 4, onde atingiu 12, 12 e 13 mg/dm<sup>3</sup> de P, respectivamente. Esse resultado sugere que Fosbio®BR pode estar promovendo uma maior disponibilidade de fósforo para as plantas, favorecendo seu desenvolvimento inicial. Nesse sentido diferentes abordagens podem ser utilizadas visando uma liberação constante e gradual de fósforo no solo, sendo elas o uso de map revestido com polímeros conforme demonstrado no trabalho de Silva et al. (2012), uso de fosfatos

naturais e termosfatos de acordo com Resende et al. (2006) e o uso de fertilizantes organominerais conforme Lana et al. (2014).

A eficiência de fontes de fósforo é fortemente influenciada pela forma como o nutriente é liberado no solo, com fontes que promovem uma liberação gradual sendo mais eficazes para o crescimento das plantas, o que segundo Agostinho et al. (2010) destaca que a liberação gradual de P reduz o seu contato com óxido e argilas impedindo assim a formação de compostos que devido a sua difícil dissolução dificultam a disponibilização do P no solo.

Por outro lado, o fosfato natural apresentou uma variação significativa nos seus valores, com um pico na semana 2, seguido por uma queda acentuada nas semanas subsequentes. Este padrão pode indicar uma liberação inicial rápida de fósforo, que não é sustentada ao longo do tempo, resultando em menor disponibilidade nas semanas posteriores. De acordo com Oliveira et al. (2013), fertilizantes que liberam fósforo rapidamente podem ter sua eficácia reduzida em solos que possuem alta capacidade de fixação de fósforo, uma vez que o nutriente pode rapidamente se tornar indisponível para as plantas.

O desempenho do MAP foi mais estável, com valores moderados ao longo das semanas, mas sem atingir os picos observados com Fosbio<sup>®</sup>BR. Isso sugere que o MAP pode oferecer uma liberação de fósforo mais equilibrada, mas menos eficaz em comparação com Fosbio<sup>®</sup>BR.

O Controle II, que não recebeu qualquer fonte adicional de fósforo, apresentou valores estáveis, mas baixos, ao longo de todo o período, confirmando a importância da adubação fosfatada para o crescimento das plantas. Esse resultado é consistente com as observações de Correia et al. (2004), que destacam que a eficiência dos adubos fosfatados pode ser afetada pelas fontes de fosfato, modo de aplicação, propriedades do solo e até mesmo a espécie vegetal. A ausência de fertilização adequada resulta em um crescimento limitado das plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade natural de fósforo.

Ao comparar os resultados obtidos (com e sem milho), observa-se uma diferença clara no desempenho das diferentes fontes de fósforo (P) em função da presença da cultura. Essa diferença pode ser atribuída à interação entre as características do solo, a disponibilidade de nutrientes, e as exigências nutricionais específicas do milho.

No experimento com milho, o Fosbio<sup>®</sup>BR destacou-se com valores consistentemente elevados ao longo das semanas, especialmente nas semanas 2 e 3. A alta demanda de fósforo pelo milho durante as fases iniciais de crescimento pode explicar esse desempenho superior, já que Bastos et al. (2010) indicam que o milho possui um alto consumo de fósforo, pois as doses recomendadas são altas devido baixa eficiência de aproveitamento do P chegando a 30 %, o que justifica a eficácia de fontes de fósforo que liberam o nutriente de forma mais controlada e gradual.

Por outro lado, no experimento sem milho, o Fosbio<sup>®</sup>BR também mostrou um desempenho superior, mas os valores foram menores em comparação ao experimento com milho. Isso sugere que, na ausência de uma cultura com alta exigência de fósforo, a liberação do nutriente ocorre de forma mais lenta e menos aproveitada, resultando em menor eficiência. Frandoloso et al. (2010) relatam que a eficácia dos fertilizantes fosfatados pode ser modulada pela demanda específica da cultura em crescimento, dessa forma acredita-se que em sistemas sem plantas de alta demanda, a liberação de fósforo tende a ser menos eficaz.

Além disso, o fosfato natural mostrou uma resposta mais variável em ambos os experimentos. No experimento com milho, houve um pico na semana 1, seguido por uma queda, indicando uma rápida liberação de fósforo, que não se sustentou ao longo do tempo.

O MAP apresentou um desempenho intermediário em ambos os experimentos, com valores moderados ao longo das semanas. No experimento com milho, os valores foram um pouco mais altos, o que indica que o MAP foi capaz de atender parcialmente à demanda de fósforo da cultura.

Em relação aos controles I e II, os valores apresentados foram baixos e estáveis, o que era esperado devido à ausência de adubação fosfatada adicional. A ausência de fertilização resulta em uma limitação significativa no crescimento das plantas, especialmente em solos com baixa disponibilidade de fósforo, o que é confirmado pelos valores observados nos controles.

#### 4. Conclusão

O estudo sugere que a escolha da fonte de fósforo deve ser feita com base nas necessidades específicas da cultura e nas características do solo. O Fosbio®BR mostrou ser a fonte mais eficaz na disponibilização de fósforo tanto em sistemas com milho quanto sem milho, indicando sua adequação para solos que necessitam de uma liberação gradual de nutrientes. O fosfato natural, embora tenha uma liberação inicial rápida, pode não ser ideal em solos com alta fixação de fósforo. Já o MAP, com seu desempenho intermediário, pode ser uma opção viável, mas sua eficácia depende das condições específicas do solo e da cultura.

Ressalta-se que apesar do Fosbio® ter dado bom resultado a dosagem é grande para aplicar e isso pode ser um complicador operacional e de custos.

#### Referências

- Agostinho, F. B. et al. (2010). Efeito do uso de MAP revestido com polímeros de liberação gradual em atributos de solo e produtividade de matéria seca no milho. In: *Congresso Nacional de Milho e Sorgo*. 28, 6.
- Bastos, A. L.; Costa, J. P. V.; Silva, I. F.; Raposo, R. W. C.; Oliveira, F. A.; & Albuquerque, A. W. (2010) Resposta do milho a doses de fósforo. *Rev bras eng agríc ambient* 14(5):485–91. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000500005>
- Climate - data.org. Clima Paraguaçu. (2021). <https://pt.climatedata.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/poco-fundo-25005>.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2024). <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5615-brasil-deve-produzir-299-27-milhoes-de-toneladas-de-graos-na-safra-2023-2024>
- Corrêa, J. C.; Mauad, M.; & Rosolem, C. A. (2004). Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39(12), 1231–1237. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004001200010>
- Duarte, J. O.; Matosso, M. J.; & Garcia, J. C. (2021). *Importância Socioeconômica*. EMBRAPA: Embrapa Milho e Sorgo. <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/milho/pre-producao/socioeconomia/importancia-socioeconomica>
- Ferreira, D. F. (2014). Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e Agrotecnologia (UFPA)*, 35 (6),1039-1042.
- Franceloso, J. F.; Lana, M. C.; Fontaniva, S.; & Czczyca, R. V. (2010). Eficiência de adubos fosfatados associados ao enxofre elementar na cultura do milho. *Revista Ceres*, 57 (5), 686-694.
- Gazola, R. N.; Buzetti, S.; Dinalli, R. P.; Teixeira Filho, M. C. M.; & Celestrino, T. S. (2013). Efeito residual da aplicação de fosfato monoamônio revestido por diferentes polímeros na cultura do milho. *Revista Ceres*, 60 (6), 876-884. <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2013000600016>
- Harger, N.; Brito, O. R.; Ralisch, R.; Ortiz, F. R.; & Watanabe, T. S. (2007). Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Ciências Agrárias*, 28 (1), 39-44. <https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744083005.pdf>
- Lana, M. C.; Rampim, L.; Schulz, L. R.; Kaefer, J. E.; Hartmann Schmidt, M. A.; & Ruppenthal, V. (2014). Disponibilidade de fósforo para plantas de milho cultivadas com fertilizante organomineral e fosfato monoamônico. *Scientia Agraria Paranaensis*, 13 (3), 198-209. <https://doi.org/10.18188/sap.v13i3.7659>
- Köppen, W.; & Geiger, R. (1928) *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Menegaldo, J. G. (2011). *A importância do milho na vida das pessoas*. EMBRAPA/Infoteca: 1, 1-2. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/888767/1/Importanciamilho.pdf>
- Novais, R. F.; Smyth, T. J.; & Nunes, F. N. (2007). Fósforo. In: Novais, R. F. et al. *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 471-550.
- Novais, R. F.; & Smyth, T. J. (1999). *Fósforo em solo e planta em condições tropicais*. Viçosa: UFV.
- Oliveira, F. H. T.; Novais, R. F.; Alvarez, V. H.; Cantarutti, R. B.; & Barros, N. F. (2002). Fertilidade do solo no sistema plantio direto. *Tópicos em Ciência do Solo*, Viçosa, 2, 393-486.
- Oliveira, M. A. R.; Paris, E. C.; & Ribeiro, C. (2013). Avaliação do potencial de uso da hidroxipatita para fertilização de solos. *Quím Nova*, 36 (6), 790-792. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000600008>

- Otoni, S. I.; & Sousa, A. C. G. (2024). Crescimento inicial do milho com diferentes fontes de fósforo no sulco de plantio. *Revista ft*, 28 (130), 1-28. <https://revistافت.com.br/crescimento-inicial-do-milho-com-diferentes-fontes-de-fosforo-no-sulco-de-plantio/#:~:text=A%20aplica%C3%A7%C3%A3o%20de%20fontes%20sol%C3%BAveis,necess%C3%A1rios%20para%20um%20crescimento%20vigoroso>.
- Pereira A. S. et al. (2018). Metodologia da pesquisa científica. [free e-book]. Santa Maria/RS. Ed. UAB/NTE/UFSM.
- Wendling, A.; Eltz, F. L. F.; Cubilla, M. M.; Amado, T. J. C.; & Mielniczuk, J. (2008). Recomendação de adubação potássica para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32, 1929-1939. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832008000500014>.
- Withers, P. J. A.; Rodrigues, M.; Soltangheisi, A.; Carvalho, T. S.; Guilherme, L. R. G.; Benites, V. M.; Gatiboni, L. C.; Sousa, D. M. G.; Nunes, R. S.; Rosolem, C. A.; Andreote, F. D.; Júnior, A. O.; Coutinho, E. L. M.; & Pavinato, P. S. (2018). Transitions to sustainable management of phosphorus in Brazilian agriculture. *Scientific Reports*, 8, (2537) <https://doi.org/10.1038/s41598-018-20887-z>
- Raij, B. V. (2011) *Fertilidade do solo e manejo de nutrientes*. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute.
- Resende, A. V.; Furtini Neto, A. E.; Alves, V. M. C.; Muniz, J. A.; Curi, N.; & Lago, F. J. (2006). Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. *Ciência Agrotecnologia*. 30 (3), 458-466. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542006000300011>
- Scholz, R. W.; & Wellmer, F. W. (2015). Losses and use efficiencies along the phosphorus cycle. Part 1: Dilemmata and losses in the mines and other nodes of the supply chain. *Resources, Conservation and Recycling*. 105, 216-234.
- Shitsuka, R. et al. (2014). *Matemática fundamental para tecnologia*. (2ed.). Editora Erica
- Silva, A. A.; Silva, T. S.; Vasconcelos, A. C. P.; & Lana, R. M. Q. (2012). Influência da aplicação de diferentes fontes de MAP revestido com polímeros de liberação gradual na cultura do milho. *Biosci J*. 28 (1), 240-250. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/13221/8369>
- Sousa, D. M. G.; Lobato, E.; & Rein, A. T. (2004). Adubação fosfatada. In: Sousa, D.M.G.; Lobato, E. Cerrado: *Correção do solo e adubação*. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa Cerrados.