

## **Produção e acúmulo de fósforo em milho em resposta ao manejo da adubação fosfatada associada com bactérias solubilizadoras<sup>1</sup>**

Daniela de Azevedo Ladeira<sup>2</sup>; Flávia Cristina dos Santos<sup>3</sup>; Christiane Abreu de Oliveira Paiva<sup>3</sup>; Denise Pacheco dos Reis<sup>4</sup>.

<sup>1</sup> Trabalho financiado pela Fazenda Trijunção e Embrapa. <sup>2</sup> Estudante de Engenharia Florestal da Univ. Fed. de São João del-Rei, Bolsista PIBIC do Convênio CNPq/Embrapa, daniela.a.ladeira@gmail.com; <sup>3</sup> Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, flavia.santos@embrapa.br; christiane.paiva@embrapa.br; <sup>4</sup> Bióloga, D.Sc. em Bioengenharia, reis.denisepacheco@gmail.com

### **Introdução**

Os solos brasileiros, em sua maioria, apresentam baixa fertilidade natural. Dentre os nutrientes mais requeridos pelas plantas está o fósforo (P), um elemento imóvel no solo que muitas vezes se encontra adsorvido em formas de fosfato de Fe e Al, indisponível para as plantas (Teixeira et al., 2014).

Para suprir a demanda agrícola são, frequentemente, usados como fonte de P os fosfatos solúveis, que são fontes em que o P está prontamente disponível para as plantas. No entanto, grande parte desses fertilizantes é importada e isto resulta em custos de produção onerosos e alta dependência externa, já que o mercado interno não supre toda a demanda nacional. Além disso, o uso frequente de fontes solúveis, como o superfosfato triplo, pode comprometer a respiração microbiana do solo (Chandini; Dennis, 2002, citados por Sobral et al., 2018). Os fosfatos naturais reativos surgem como alternativas às fontes solúveis, com a ressalva de que possuem menor disponibilidade de P para as plantas, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das plantas, mas com a vantagem de um maior efeito residual no solo.

A utilização de fertilizantes organominerais vem ganhando espaço na agricultura do País a partir dos resíduos orgânicos provenientes da criação de suínos e aves. Cada vez mais intensificadas, estas criações requerem alternativas para destinação segura de resíduos, como forma de viabilizar a sustentabilidade do setor (Benites et al., 2010). Portanto, a associação dessas fontes orgânicas com fosfatos de rochas reativos surge como uma opção para manejo da adubação fosfatada.

Além disso, existem fungos e bactérias que são capazes de solubilizar o P das fontes fosfatadas, liberando-o para a solução do solo para ser absorvido pelas raízes das plantas (Ribeiro et al., 2018), podendo melhorar a eficiência dos fosfatos de rocha e ofertando uma alternativa às fontes solúveis, além de resultar em ganhos de produtividade das culturas. O efeito positivo destes microrganismos no solo e na planta já foram comprovados por diversos estudos (Nahas et al., 1990, 1994; Richardson, 2001;

Oliveira et al., 2009, citados por Paiva et al., 2017) e atualmente foi lançado um inoculante comercial com esta tecnologia (Paiva et al., 2020) em função dos bons resultados obtidos.

Assim, o presente estudo objetivou avaliar a produção de parte aérea e raízes e acúmulo de fósforo por plantas de milho em resposta ao manejo da adubação fosfatada, envolvendo fontes minerais, organominerais em associação com bactérias solubilizadoras de P.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Embrapa Milho e Sorgo, em Sete Lagoas, MG. Foi utilizado solo classificado como Latossolo Vermelho Distrófico típico muito argiloso (68 dag kg<sup>-1</sup> de argila), com as seguintes características químicas, na camada de 0-20 cm, antes da aplicação dos insumos: pH H<sub>2</sub>O = 5,2; H + Al = 8,38 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; P Melich 1 = 1,17 mg dm<sup>-3</sup>; Al = 0,56 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca = 1,1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg = 0,11 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; K = 35,27 mg dm<sup>-3</sup>; MO = 3,64 dag kg<sup>-1</sup>; CTC = 9,68 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB = 1,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V = 13,43%.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, em fatorial 2 x 5 (sem e com microrganismos x 5 fontes de P) (1- testemunha sem P; 2 - ST, 3 - Bayovar; 4 - Organomineral farelado; 5 - Organomineral granulado), totalizando 10 tratamentos, com quatro repetições.

Foram utilizados vasos com capacidade de 5 kg, e cada vaso foi preenchido com 4 kg de solo. Cerca de três meses antes do plantio, o solo de todos os vasos recebeu correção e adubação sem P, de acordo com a análise de solo e conforme a recomendação para experimentação em casa de vegetação, recebendo irrigação para atingir cerca de 80% da sua capacidade de campo.

Os plantios foram realizados com a cultura do milho ADR500. Foram semeadas 20 sementes por vaso e 15 dias após a semeadura efetuou-se o desbaste, deixando-se 6 plantas por vaso. No plantio, foi realizada a aplicação de 458 mg dm<sup>-3</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (916 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) por vaso. Os teores de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> das fontes de fósforo utilizados como cálculo da adubação foram de 27% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total para o Bayovar, 16% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total para os organominerais, compostos pela mistura de 50% de cama de frango e 50% de Bayovar, nas formas granulado e farelado, e 41% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico para o Superfosfato triplo (ST). A adubação fosfatada foi feita apenas no primeiro cultivo para verificar o efeito residual do P ao longo dos outros cultivos, pois o milho foi avaliado em três cultivos sucessivos.

A inoculação em forma líquida foi realizada diretamente no solo ou no fertilizante, conforme os tratamentos, no primeiro e no terceiro cultivo. Em sulcos abertos na forma de cruz foram aplicados 10 mL vaso<sup>-1</sup> do inoculante composto pelas bactérias B119- *Bacillus megaterium* e B2084- *Bacillus subtilis*, pertencentes à Coleção de Microrganismos da Embrapa Milho e Sorgo. A cada 12 dias, a partir do plantio, foi realizada a adubação de cobertura com 50 mg kg<sup>-1</sup> de N por vaso (nitrito de amônio).

Na fase de emborrachamento do milho foi realizada a colheita das plantas, com o corte da parte aérea rente ao solo e coleta das raízes. Os materiais coletados foram pesados, com a determinação de massa verde (MV), e colocados em estufa de circulação forçada na temperatura de 65 °C. Após atingir peso constante, foi

determinada a massa seca (MS) da parte aérea e raízes do milheto. O material foi posteriormente enviado para laboratório para análise dos teores de P e cálculo de seu acúmulo em cada parte avaliada. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) usando o aplicativo computacional Sisvar (Ferreira, 2014).

Neste trabalho serão apresentados os dados de produção e acúmulo de P na parte aérea e raízes do milheto apenas do 3º cultivo, para verificação de efeito residual de P.

## Resultados e Discussão

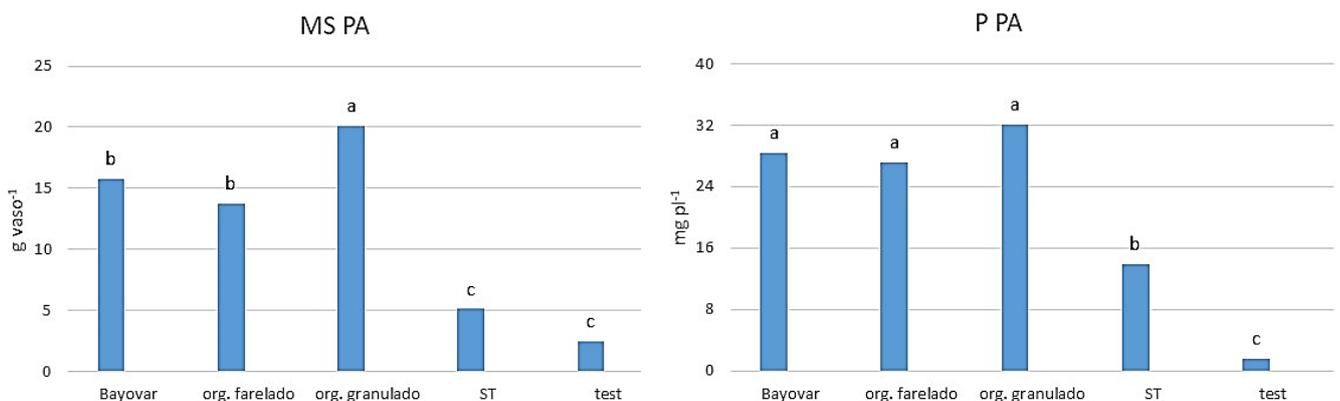
Na Tabela 1 observa-se que houve efeito, isoladamente, apenas das fontes de P sobre a produção de massa seca da parte aérea e também sobre o acúmulo de P na parte aérea de plantas de milheto. Assim, a produção de milheto sob o efeito residual da aplicação das fontes (3º cultivo) foi maior para a fonte organomineral granulada, seguida das fontes Bayovar e organomineral farelado, tendo o menor desempenho obtido pelo ST que não diferiu da testemunha (Figura 1). Estes resultados evidenciam o maior efeito residual das fontes de fosfatos de rocha em relação à fonte solúvel ST.

O acúmulo de P na parte aérea das plantas foi maior entre as fontes com o fosfato de rocha, seguido do ST, que superou, neste caso, a testemunha (Figura 1).

**Tabela 1.** Resumo da Anova da massa seca da parte aérea (MS PA), raízes (MS raiz) e acúmulo de P na parte aérea (P PA) e nas raízes (P raiz) de plantas de milheto.

F.V.	G.L.	MS PA	MS raiz	P PA	P raiz
FP	4	***	***	***	***
Mic	1	ns	*	ns	ns
FP x Mic	4	ns	**	ns	**
Erro	30				
C.V.		36,3	45,3	28,1	45,4

ns: não significativo; \*\*\*: significativo a 0,1%; \*\*: significativo a 1%; \*: significativo a 5%. FP: fonte de fósforo, Mic = microrganismos (bactérias solubilizadoras de P).



**Figura 1.** Produção de massa seca (MS PA) e acúmulo de P (P PA) da parte aérea das plantas de milheto em função das fontes de P.

O desdobramento da interação de fontes de P/microrganismos sobre a produção de massa seca de raiz foi significativo apenas na presença das bactérias solubilizadoras ( $P < 0,001$ ), conforme apresentado na Tabela 2, mostrando o melhor desempenho em produção de raízes da fonte organomineral granulada, seguida do Bayovar e organomineral farelado, e tendo o pior desempenho a testemunha e o ST. Já o desdobramento de microrganismos/fontes foi significativo apenas para o organomineral granulada e o Bayovar, com maior produção de raízes na presença das bactérias solubilizadoras de P (Tabela 2).

**Tabela 2.** Desdobramentos significativos das interações FP x Mic para produção de massa seca de raízes.

FP/com Mic		Mic/Org. granulada	
ST	0,89 c	Sem Mic	3,66 b
Test	1,44 c	Com Mic	7,78 a
Org. farelado	3,66 b	Mic/Bayovar	
Bayovar	4,35 b	Sem Mic	2,18 b
Org. granulada	7,78 a	Com Mic	4,35 a

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O acúmulo de P nas raízes apresentou efeito da interação FP x Mic (Tabela 1) e os desdobramentos desta interação se encontram na tabela 3.

As fontes organomineral granulada e farelado foram superiores às demais, inclusive testemunha, que não diferiram entre si (Tabela 3) quando na ausência das bactérias solubilizadoras de P. Já na presença das bactérias, o destaque continuou para o organomineral granulada, seguido do Bayovar e organomineral farelado (Tabela 3). No desdobramento de microrganismos dentro das fontes, apenas houve efeito significativo do organomineral granulada, com maior acúmulo de P nas raízes de milho na presença das bactérias solubilizadoras. Este resultado é semelhante aos obtidos nos trabalhos de Almeida et al. (2016) e Paiva et al. (2020), em que a associação da fonte fosfatada aos microrganismos solubilizadores de P resultou em maior produtividade de milho e milho, respectivamente, se comparado com o resultado sem inoculação.

O melhor desempenho, no geral, da fonte organomineral granulada reforça a importância de uma fonte de C para a ação microbiana no solo, bem como pode significar uma certa proteção do granulada aos microrganismos, propiciada no processo de granulação.

Além disso, é nítido o maior efeito das bactérias solubilizadoras de P agindo sobre as raízes em comparação à parte aérea, onde só houve efeito das fontes (Tabela 1). Sousa et al. (2018) observaram que na presença de microrganismos houve significativo aumento na área superficial de raízes e massa seca da parte aérea das plantas.

**Tabela 3.** Desdobramentos significativos das interações FP x Mic para o acúmulo de P nas raízes.

<b>FP/sem Mic</b>		<b>Mic/Org. granulado</b>	
Bayovar	2,30 b	Sem Mic	5,57 b
ST	2,35 b	Com Mic	10,00 a
test	2,37 b		
Org. farelado	4,35 a		
Org. granulado	5,57 a		
<b>FP/com Mic</b>			
Test	1,00 c		
ST	1,17 c		
Org. farelado	3,85 b		
Bayovar	4,50 b		
Org. granulado	10,00 a		

FP: Fonte de Fósforo. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

### Conclusões

O uso de bactérias solubilizadoras de P e a utilização de fontes alternativas são opções importantes a serem buscadas para o manejo da adubação fosfatada, objetivando maior eficiência para este nutriente que é um dos principais limitantes na produção das culturas.

### Referências

ALMEIDA, C. N. S.; SANTOS, F. C.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; FREITAS, A.; PAIVA, C. A. O. **Adubação organomineral em associação com microrganismos solubilizadores de fósforo no milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2016. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 147).

BENITES, V. de M.; CORREA, J. C.; MENEZES, J. F. S.; POLIDORO, J. C. Produção de fertilizante organomineral granulado a partir de dejetos de suínos e aves no Brasil. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Fontes de nutrientes e produção agrícola: modelando o futuro: anais**. Viçosa, MG: SBCS, 2010. FERTBIO 2010.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014.

PAIVA, C. A. O.; MARRIEL, I. E.; GOMES, E. A.; COTA, L. V.; SANTOS, F. C. dos; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; OLIVEIRA, M. C.; MATTOS, B. B.; ALVES, V. M. C.; RIBEIRO, V. P.; VASCO JÚNIOR, R. **Recomendação agrônômica de cepas de *Bacillus subtilis* (CNPMS B2084) e *Bacillus megaterium* (CNPMS B119) na cultura do milho**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2020. 18 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 260).

PAIVA, C. A. O.; SANTOS, F. C.; MARRIEL, I. E.; ALMEIDA, C. N. S.; GOMES, E. A.; MATTOS, B. B.; PASSOS, A. M. A. dos; ALBUQUERQUE FILHO, M. R. de; TEIXEIRA, P. C. **Adubação fosfatada organomineral com pulverização de inoculante contendo microrganismos solubilizadores**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2017. 11 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 236).

RIBEIRO, V. P.; MARRIEL, I. E.; SOUSA, S. M. de; LANA, U. G. de P.; MATTOS, B. B.; PAIVA, C. A. O.; GOMES, E. A. Endophytic *Bacillus* strains enhance pearl millet growth and nutrient uptake under low-P. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49S, p. 40-46, 2018. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1517-83822018000500040&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822018000500040&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 13 ago. 2020.

SOBRAL, L. F.; PAIVA, C. A. O.; SANTOS, F. C. dos. **Adubação organomineral no milho associada a microrganismos solubilizadores de fósforo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2018. 19 p. (Embrapa Tabuleiros Costeiros. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 137).

SOUSA, S. M. de; PAIVA, C. A. O.; ANDRADE, D. L.; CARVALHO, C. G. de; RIBEIRO, V. P.; PASTINA, M. M.; MARRIEL, I. E.; LANA, U. G. de P.; GOMES, E. A. **Cepas de *Bacillus* e *Azospirillum* aumentam o crescimento e a absorção de nutrientes em milho em condições hidropônicas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2018. 31 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 184).

TEIXEIRA, W. G.; SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Resposta da cana-de-açúcar a doses de fósforo fornecidas por fertilizante organomineral. **Bioscience Journal**, v. 30, n. 6, p. 1729-1736, 2014.