

Produtividade do milheto em resposta à adubação fosfatada associada a microrganismos solubilizadores em solo arenoso

Daniela de Azevedo Ladeira²; Flávia Cristina Santos³; Christiane Abreu de Oliveira⁴; Bianca Braz Mattos⁵; Luciano Viana Cota.⁶

¹ Trabalho financiado pela Fazenda Trijunção e Embrapa.

² Estudante de Engenharia Florestal da Univ. Fed. de São João del-Rei, Bolsista PIBIC do Convênio CNPq/Embrapa, daniela.a.ladeira@gmail.com

³ Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, flavia.santos@embrapa.br

⁴ Pesquisadora da Embrapa Milho e Sorgo, christiane.paiva@embrapa.br

⁵ Analista da Embrapa Solos, bianca.mattos@embrapa.br

⁶ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, luciano.cota@embrapa.br

Introdução

Os solos arenosos ocupam cerca de 15 % da área do Cerrado e são originalmente pobres em nutrientes e com elevada acidez. Portanto, para serem inseridos no processo produtivo, necessitam de correção da sua fertilidade. Dentre os nutrientes mais limitantes requeridos pelas plantas está o fósforo (P), que apresenta baixa disponibilidade natural na maioria dos solos do Cerrado (Hoffmann Neto et al., 1999). Para suprir a demanda das plantas é necessário realizar a adubação fosfatada e, como esta fonte é escassa no Brasil, há a importação de grande parte dos fertilizantes utilizados no País, o que onera os custos de produção.

Os fosfatos solúveis são os fertilizantes mais usados como fonte de P, porém a origem destes fosfatos é finita e a dependência de outros países para sua importação pode comprometer o desenvolvimento agropecuário do Brasil. Neste contexto, a utilização de fontes alternativas, como as originadas de rochas fosfatadas, em associação com microrganismos solubilizadores de fosfatos (MSF), deve ser objeto de pesquisas na busca de soluções envolvendo os sistemas de produção. O Bayovar é um dos melhores e mais reativos fosfatos naturais. Ele proporciona significativo incremento na massa seca das plantas em condições de baixa saturação por bases.

Segundo Batista et. al. (2016) e Diniz et. al. (2016) a associação de microrganismos solubilizadores aos fertilizantes é capaz de aumentar gradativamente a atividade enzimática microbiana e a ciclagem de nutrientes no solo, ao longo do tempo. Isto revela que há efeito residual do P e a catalisação de sua liberação por meio dos microrganismos.

Alves et. al. (2002) observaram um efeito positivo da inoculação de microrganismos solubilizadores no teor de fósforo da parte aérea de plantas perenes, o que significa que há absorção facilitada de P lábil do solo na presença dos microrganismos. Portanto, verificaram que existem microrganismos aptos para serem utilizados na tecnologia de produção de inoculantes para o agronegócio.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a produtividade do milho em resposta à adubação fosfatada associada a microrganismos solubilizadores de P em solo arenoso.

O milho foi escolhido como planta teste por possuir crescimento radicular vigoroso, pela elevada capacidade de absorção e ciclagem de nutrientes e por mostrar-se sensível à deficiência de nutrientes, bem como ser bastante responsivo aos fatores da fertilidade do solo (Resende et al., 2012). Geralmente, é usado como palhada para cobertura de solo e também para silagem.

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 Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico com horizonte A de textura arenosa, proveniente da Fazenda Trijunção, situada na região do Cerrado do Sudoeste baiano, conforme características apresentadas na tabela 1, antes da aplicação dos tratamentos.

Tabela 1: Atributos químicos e teor de argila do solo antes da aplicação dos tratamentos.

Prof.	pH	P- M1	K ⁺	S	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H + Al	T	V	Argila
cm	H ₂ O	-----mg dm ⁻³ -----			-----cmol _c dm ⁻³ -----					%	dag kg ⁻¹
0-20	6,2	1,5	11,2	12,9	0,9	0,4	0,0	0,8	2,0	61,8	14
20-40	5,8	0,7	8,5	15,7	0,4	0,2	0,0	1,1	1,7	35,3	17

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em fatorial 2 x 5 (sem e com microrganismos x 5 fontes), totalizando 10 tratamentos (Tabela 3), com quatro repetições, em 3 cultivos sucessivos.

Foram utilizados vasos com capacidade de 5 kg, e cada um foi preenchido com 4 kg de solo. Cerca de 3 meses antes do plantio, o solo de todos os vasos recebeu correção e adubação sem P, observando-se a análise de solo e conforme a recomendação para experimentação em casa de vegetação. Os nutrientes contidos nas respectivas soluções para adubação foram diluídos em 5 litros de água deionizada (Tabela 2).

Tabela 2: Doses de reagentes (PA) aplicados por kg de solo em todos os vasos do ensaio.

Reagente (PA)	Dose (mg kg solo ⁻¹)	
NH ₄ NO ₃	285,85	Solução 1 50 mL por vaso
KCl	191,18	Solução 2 50 mL por vaso

H ₃ BO ₃	2,86	Solução 3 50 mL por vaso
CuSO ₄ .5H ₂ O	7,86	
MnSO ₄ .H ₂ O	9,23	
ZnSO ₄ .7H ₂ O	17,59	
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,46	
(NH ₄) ₂ SO ₄	123,88	
NH ₄ NO ₃	51,45	Solução 4 (Cobertura – 3 aplicações) 50 mL por vaso
CaCO ₃	400	Correção
MgO	205	Correção

No plantio, foi realizada a aplicação do equivalente a 916 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por vaso. Os teores de P₂O₅ das fontes de fósforo utilizados como cálculo da adubação foram de 27% de P₂O₅ total para o Bayovar, 16 % de P₂O₅ total para os organominerais, compostos pela mistura de 50% de cama de frango e 50% de Bayovar, nas formas granulada e farelada (OG e OF, respectivamente) e 41% P₂O₅ 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.

A inoculação em forma líquida foi realizada no plantio, 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⁻¹ do inoculante composto pelas bactérias B119- *Bacillus megaterium* e B2084- *Bacillus subtilis*, pertencentes à Coleção de Microrganismos da Embrapa Milho e Sorgo. 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. O cultivo 1 se iniciou dia 17 de agosto de 2018 e teve duração de 42 dias; o cultivo 2 se iniciou dia 01 de outubro de 2018 e teve duração de 51 dias e o cultivo 3 se iniciou 20 de novembro de 2018 e durou 71 dias.

Tabela 3: Tratamentos com adubação fosfatada associada a microrganismos solubilizadores de P.

Tratamento	Fontes	Inoculante
1	Testemunha	0
2	Organomineral granulada	0
3	Organomineral farelada	0
4	ST	0
5	Bayovar	0

6	Testemunha	119+2084
7	Organomineral granulado	119+2084
8	Organomineral farelado	119+2084
9	ST	119+2084
10	Bayovar	119+2084

A irrigação foi feita com água deionizada e de acordo com a demanda da cultura. A cada 12 dias, a partir do plantio, foi realizada a adubação de cobertura com 50 mg kg⁻¹ de N por vaso (nitrate de amônio).

Na fase de emborrachamento do milho foi realizada a colheita das plantas, com o corte da parte aérea rente ao solo. Houve a coleta das raízes das plantas no terceiro cultivo. O material coletado foi pesado, com a determinação de massa verde (MV), e colocado em estufa de circulação forçada à temperatura de 65° C. Após atingir peso constante, foi determinada a massa seca (MS) do tecido vegetal. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey (p<0,05) usando o aplicativo computacional Sisvar (Ferreira, 2014).

Resultados e Discussão

Pelos resultados da síntese da Anova apresentados na tabela 4, nota-se que houve efeito das fontes de P e dos microrganismos na produtividade de massa seca das plantas e massa seca das raízes. Considerando a interação entre fontes e microrganismos, houve efeito apenas para a massa seca de raízes.

Tabela 4: Síntese da ANOVA para massa seca dos cultivos 1, 3 e 3 e massa seca de raiz para o cultivo 3 em função dos tratamentos.

Fontes de variação (FV)	GL	QM			
		MS1	MS2	MS3	MS3 Raiz
Fontes	4	227,35***	365,20***	39,07***	1,62***
Mic	1	16,93**	198,47***	104,65***	4,48***
Fontes x Mic	4	3,07 ns	22,10 ns	7,31 ns	0,80*
rep	3	1,38	8,01	2,10	0,32
erro	27	1,27	11,50	3,22	0,23
CV%		21,09	26,07	29,49	43,25

GL: grau de liberdade; QM: quadrados médios; ns: não significativo; ***: significativo a 0,1%; **: significativo a 1%; *: significativo a 5%.

Os resultados de massa seca da parte aérea das plantas do cultivo 1 mostraram que o tratamento com ST alcançou produtividade muito superior às outras fontes (Tabela 5). Entretanto, nos outros cultivos, a produtividade com o tratamento ST foi inferior às outras fontes de P, sendo inclusive igual às da testemunha sem P. Esses resultados mostram a rápida solubilidade do ST, que produziu mais no primeiro cultivo, diferentemente das fontes com os fosfatos naturais (Bayovar e organominerais

granulado e farelado), que possuem maior efeito residual e que ficou evidenciado nas maiores produtividades de massa seca das plantas nos segundo e terceiro cultivos (Tabela 5).

Tabela 5: Médias de massa seca da parte aérea, para os três cultivos (MS1, MS2 e MS3), e média do peso seco de raízes do cultivo 3, para plantas de milho submetidas a diferentes tratamentos com fontes de P.

Fontes	Médias			
	MS1 (g)	MS2 (g)	MS3 (g)	MS3 Raiz (g)
Testemunha	9,66 c	2,67 b	5,12 bc	1,22 a
Bayovar	12,47 c	18,12 a	7,65 ba	1,40 a
Org. granulada	35,70 b	18,54 a	8,47 a	1,46 a
Org. farelado	38,11 b	17,09 a	6,32 ba	1,17 a
ST	130,96 a	5,02 b	2,86 c	0,34 b

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

Em relação às formas dos organominerais, granulada ou farelada, observa-se que não houve diferença estatística para a produtividade de massa seca da parte aérea das plantas e raízes em relação a cada cultivo, isoladamente (Tabela 5). Entretanto, a forma granulada é mais adequada para utilização nos plantios, podendo ser colocada nas caixas de adubo das plantadoras, privilegiando assim a tecnologia dos organominerais.

Considerando as raízes, percebe-se que a presença do ST resultou em menor produtividade de massa seca por vaso em relação à testemunha e demais tratamentos (Tabela 5), após três cultivos sucessivos. Esse resultado pode ser explicado devido à redução do metabolismo dos hormônios vegetais de crescimento (citocininas, auxinas entre outros) em condições de deficiência de P no solo (Silva; Delatorre, 2009). Também, no tratamento com o ST, supondo-se que houve uma rápida disponibilização e absorção intensa de P no primeiro cultivo, pode ter havido o esgotamento deste no terceiro, permanecendo maiores teores de P do efeito residual das fontes com menor reatividade (Bayovar e organominerais), estimulando assim o crescimento de raízes. Essa hipótese seria melhor embasada com a realização e apresentação dos dados de análise de solo após o terceiro cultivo.

Onde houve queda na produtividade de massa seca da parte aérea das plantas ao longo dos cultivos (Tabela 5) foi, provavelmente, devido à depleção da disponibilidade dos nutrientes no solo, provenientes da adubação básica aplicada inicialmente. Entretanto, essa hipótese necessita de resultados de análise de solos dos cultivos para confirmação.

Analisando o efeito dos microrganismos (Tabela 6), houve menor produtividade de massa seca da parte aérea das plantas no primeiro cultivo com a presença dos solubilizadores de P e, nos outros dois cultivos, a produtividade de massa seca da parte aérea das plantas e das raízes, foi maior na presença dos microrganismos. Esses resultados, concordante com os desdobramentos de cada tratamento, comprovam que houve maior efeito residual das fontes com fosfato natural (15,42g, em média), associadas aos microrganismos, em relação ao superfosfato triplo (4,71g, em média) que

se sobressaiu apenas no primeiro cultivo, conforme também foi observado na análise dos tratamentos com as diferentes fontes de P ao longo dos cultivos (Tabela 5).

Tabela 6: Médias dos tratamentos com e sem microrganismos solubilizadores de P para massa seca da parte aérea de plantas de milho (MS1, MS2 e MS3), para os três cultivos, e raízes do cultivo 3.

Tratamento	Médias			
	MS1	MS2	MS3	MS3 Raiz
Com microrganismo	4,68 b	15,23 a	7,70 a	1,45 a
Sem microrganismo	5,99 a	10,77 b	4,46 b	0,78 b

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

A análise de variância do desdobramento da interação significativa para massa seca das raízes do cultivo 3 mostrou significância na interação fontes/microrganismos apenas na presença de microrganismos, com o ST proporcionando menor produção de raízes (0,30 g) em relação aos demais tratamentos (1,74 g, em média), que não diferiram entre si, estatisticamente.

O desdobramento da interação microrganismos/fontes (Tabela 7) mostrou que os tratamentos com Bayovar, Organomineral farelado e Organomineral granulado produziram mais raízes na presença dos microrganismos, enquanto para a testemunha e o ST não houve efeito dos microrganismos. Este resultado mostra a atuação dos microrganismos nas fontes de P com menor reatividade, ou seja, na presença do Bayovar, confirmando a viabilidade da utilização de fosfatos naturais com associação microbiana para favorecer o crescimento das raízes.

Tabela 7: Médias dos desdobramentos de Microrganismos/Fontes para massa seca de raiz do cultivo 3.

Tratamento	Bayovar**	Org. farelado**	Org. granulado***	ST ns	Testemunha ns
Com mic	1,88 a	1,67 a	2,15 a	0,30 a	1,27 a
Sem mic	0,93 b	0,67 b	0,77 b	0,39 a	1,18 a

ns: não significativo; ***: significativo a 0,1%; **: significativo a 1%. Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem entre si ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

Conclusões

A inoculação de microrganismos solubilizadores de P com o uso de fontes alternativas de menor reatividade se apresenta como uma promissora alternativa ao uso das fontes tradicionais para cultivos em solos arenosos.

Para uma recomendação mais assertiva, testes adicionais devem ser realizados em campo.

Referências

ALVES, L.; MENDOZA, E. A.; SILVA FILHO, G. N. Microrganismos solubilizadores de fosfatos e o crescimento de pinus e eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 4, p. 939-947, 2002.

BATISTA, F.C.; CAMILO B. G.; OLIVEIRA M.C.; MATTOS, B.B.; SANTOS, F.C.; MARRIEL, I.E.; OLIVEIRA, C.A. Atividade microbiana do solo em cultivo de milho adubado com fertilizantes organominerais enriquecidos com microrganismos e submetidos a diferentes temperaturas de secagem. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 32.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 14.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 11., 2016, Goiânia. **Rumo aos novos desafios**: [anais]. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. FertBio 2016.

DINIZ, G. de F. D.; PINHO, J. M. R.; SANTOS, F. C. dos; GOMES, E. A.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA, C. A. de. Avaliação da atividade enzimática em cultivo de milho adubado com fertilizantes organominerais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 32.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 16.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 14.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 11., 2016, Goiânia. **Rumo aos novos desafios**: [anais]. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. FertBio 2016.

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

HOFFMANN NETO, E. G.; VINCENZI, M. L.; ZOBY, J. L. F. **Tecnologia para a produção de forragem em solos do Cerrado do Brasil central**. Florianópolis: [s.n], 1999. Relatório Técnico

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; MARTINS, E. S.; HURTADO, S. M. C.; OLIVEIRA, C. G.; SENA, M. C. **Protocolo de avaliação agronômica de rochas e produtos derivados como fontes de nutrientes às plantas ou condicionadores de solo**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 32 p. (Embrapa Milho e Sorgo. Documentos 143).

SILVA, A. A.; DELATORRE, C. A. Alterações na arquitetura de raiz em resposta à disponibilidade de fósforo e nitrogênio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 8, n. 2, p. 152-163, 2009.