



Semina: Ciências Agrárias
ISSN: 1676-546X
semina.agrarias@uel.br
Universidade Estadual de Londrina
Brasil

Pinceli Chaves, Danilo; Zucareli, Claudemir; de Oliveira Junior, Adilson
Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no
desenvolvimento e produtividade do milho
Semina: Ciências Agrárias, vol. 34, núm. 1, enero-febrero, 2013, pp. 57-72
Universidade Estadual de Londrina
Londrina, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445744119006>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

Fontes de fósforo associadas à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* no desenvolvimento e produtividade do milho

Sources of phosphorus associated inoculation with *Pseudomonas fluorescens* in development and maize yield

Danilo Pinceli Chaves^{1*}; Claudemir Zucareli²; Adilson de Oliveira Junior³

Resumo

A utilização crescente de fertilizantes para elevar a disponibilidade de P para as plantas tem promovido um forte impacto econômico no setor agrícola. Visando a melhor eficiência do uso dos fertilizantes fosfatados, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de fontes de P associados à inoculação com *Pseudomonas fluorescens* via sementes, no desenvolvimento e nos componentes de produção de plantas de milho. O experimento foi conduzido a campo, em esquema fatorial 6x2, em blocos casualizados, com quatro repetições. Foram aplicados 120 kg ha⁻¹ de P via solo por meio de seis fontes: Superfosfato Triplo (SFT), Gafsa, Itafós, SFT+Gafsa e SFT+Itafós, além do controle (sem P). As sementes da cultivar AG 8088 foram submetidas à inoculação ou não com *Pseudomonas fluorescens* da Estirpe 1008. As variáveis analisadas no florescimento foram: altura de plantas (AP), altura da inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF), massa seca total (MST) e teor de P foliar (PF). Na colheita, realizou-se a avaliação dos componentes de produção: número de grãos por espiga (NG), massa de 100 grãos (M100), teor de P nos grãos (PG), produtividade de grãos (PROD), índice de colheita (IC) e eficiência agronômica relativa (EAR). A inoculação com *P. fluorescens* via sementes incrementou a AIE e AP quando utilizado SFT. No controle a inoculação da rizobactéria resultou em 87% de EAR. As aplicações de SFT+Itafós e SFT+Gafsa podem ser uma alternativa para os sistemas agrícolas, visando a menor utilização de fosfatos acidulados. O desempenho produtivo do milho não foi alterado pelas fontes de P e níveis de inoculação com *P. fluorescens*.

Palavras-chave: *Zea mays* L., rizobactérias, biomassa, promotores de crescimento, componentes de produção

Abstract

The increased use of fertilizers to raise phosphorus availability to plants has promoted a strong economic impact on agriculture. For the better efficiency of use of phosphate fertilizers, this study aimed to evaluate the effect of P sources linked to inoculation with *Pseudomonas fluorescens* via seeds, in the development and yield components of corn plants. The experiment was conducted in the field, in 6x2 factorial, in randomized block design with four replications. Were applied 120 kg ha⁻¹ P in the soil through five sources: triple superphosphate (SFT), Gafsa rock phosphate, Itafos rock phosphate, SFT+Gafsa and SFT+Itafos, and a control treatment (no P). The seeds of the cultivar AG 8088 were subjected to inoculation or not with the *Pseudomonas fluorescens* strain 1008. The variables studied in the flowering were: plant height (AP), height of ear insertion (AIE), stem diameter (DC), leaf area

¹ Engº Agrº, M.Sc., Supervisor Desenvolvimento de Produtos Nidera Ltda. Menino Deus, Lucas do Rio Verde, MT. E-mail: danilopincha@gmail.com.br

² Prof. Dr. Adjunto do Deptº de Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, UEL, Londrina, PR. E-mail: claudemirc@uel.br

³ Pesquisador Dr. Embrapa Soja, Londrina, PR. E-mail: adilson@cnpso.embrapa.br

* Autor para correspondência

(AF), leaf dry mass (MSF), total dry weight (MST) and leaf P content (PF). At harvest, there was the assessment of yield components: number of kernels per ear (NG), weight of 100 grains (M100), P content in grain (PG), yield (PROD), harvest index (IC) and relative agronomic effectiveness (EAR). The inoculation with *P. fluorescens* to seeds increased the AIE and AP when used SFT. At control the rhizobacteria inoculation resulted in 87% of EAR. The applications of SFT and SFT+Itafos and SFT+Gafsa can be an alternative to farming systems, aiming to lower use of acidulated phosphate. The yield performance of corn was not altered by the P sources and levels of inoculation with *P. fluorescens*.

Key words: *Zea mays* L., rhizobacteria, biomass, growth promoters, yield components

Introdução

O P é um elemento requerido durante todo o ciclo da cultura do milho, fundamental para o crescimento e desenvolvimento vegetal (SOUSA; LOBATO, 2003). Os teores deste macronutriente na solução do solo são, em geral, baixos, em decorrência da baixa solubilidade dos compostos de P existente no solo, e da alta capacidade de fixação do elemento pelas partículas presentes no meio em solos tropicais (FORNASIERI FILHO, 2007). A deficiência de P prejudica a formação do colmo em plantas de milho, resultando em diâmetros menores (SARKER; KARMOKER; RASHID, 2010), assim como reduz drasticamente o índice de área foliar, principalmente nas primeiras fases do ciclo da *Poaceae* (PLÉNET; MOLLIER; PELLERIN, 2000).

A cultura do milho tem apresentado resposta a fontes de P para produção de biomassa (ERNANI; STECKLING; BAYER, 2001; CORRÊA et al., 2005; BATISTA et al., 2009) e componentes de produção (NARANG; SINGH, SINGH, 1989; AMANULLAH; MALHI; KHATTAK, 2009; RIVÉRA-HERNANDEZ et al., 2010), havendo superioridade dos fosfatos solúveis em relação aos naturais.

Dentre as fontes de P disponíveis no mercado, os fosfatos totalmente acidulados ocupam posição de destaque, pelo menor custo por unidade de P. Os principais fertilizantes fosfatados solúveis pertencem ao grupo dos superfosfatos, constituídos pelo simples e pelo triplo, ou ao dos fosfatos amoniados, constituído pelo fosfato monoamônico

(MAP) e pelo diamônico (DAP) (SOUSA; LOBATO, 2003).

Como alternativa ao uso dos superfosfatos, os fosfatos naturais têm sido amplamente estudados nos últimos anos, em decorrência do aumento da oferta no mercado brasileiro (HOROWITZ; MEURER, 2003). Esses fosfatos, quando reativos (de origem sedimentar), apresentam em sua estrutura alto grau de substituições isomórficas do fosfato por carbonato na apatita, resultando num cristal imperfeito, poroso, podendo ser mais facilmente solubilizados que os fosfatos não reativos (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

Fosfatos naturais de maior reatividade, como o Gafsa, têm mostrado eficiência equivalente ou superior para suprir P para plantas de ciclo curto quanto às formas mais solúveis, como os superfosfatos (HOROWITZ; MEURER, 2003). Tratando-se de um produto nacional, o fosfato Itafós é um fertilizante de origem sedimentar não reativo (BRASIL, 2007), podendo ser competitivo no mercado para as áreas que se localizarem próximo às jazidas, sendo que o preço embutido no transporte onera o preço final do produto (GOEDERT; LOBATO, 1980). Há poucas informações sobre este produto na literatura, havendo a necessidade de maiores estudos, principalmente a longo prazo. As misturas de fontes de P, utilizando fosfatos naturais com solúveis constituem uma alternativa agronômica e economicamente viável no fornecimento deste elemento (PIAIA et al., 2002; FRANZINI; MURAOKA; MENDES, 2009).

Buscando o melhor aproveitamento de fosfatos insolúveis, a inoculação com Rizobactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (RPCPs) é uma opção para a promoção de crescimento e da solubilização de fosfatos inorgânicos, mediante excreção de ácidos orgânicos e colonização rizosférica (BOLAN et al., 1997). A interação entre microrganismos e fontes de P é também uma forma de reduzir custos. Os microrganismos podem ser usados na forma de inoculantes visando o aumento da disponibilidade de P para as plantas, por meio da solubilização e mineralização do P de fontes inorgânicas e orgânicas, respectivamente (RICHARDSON, 2001). O principal efeito da solubilização de fosfato na promoção de crescimento de plantas está no aumento da biomassa e no teor de P das plantas (BASHAN; BASHAN, 2004).

Além de favorecer a solubilização dos fosfatos naturais, as rizobactérias podem aumentar a eficiência das fontes solúveis. Estas bactérias também possuem a capacidade de promover o crescimento radicular, permitindo assim maior exploração do solo e absorção de P, proporcionando maior intercepção radicular. Assim, o uso de rizobactérias promotoras do crescimento como inoculantes biológicos constitui uma alternativa para a produção sustentável (ROSAS et al., 2009), sendo uma tecnologia com potencial para melhorar a produtividade dos sistemas agrícolas, a longo prazo (NAIMAN; LATRÓNICO; SALAMONE, 2009).

Com o intuito de aumentar a eficiência da utilização de P nos sistemas agrícolas, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento e os componentes de produção de plantas de milho, em resposta à aplicação de fontes naturais e solúveis de P associadas ou não à inoculação com *Pseudomonas fluorescens*.

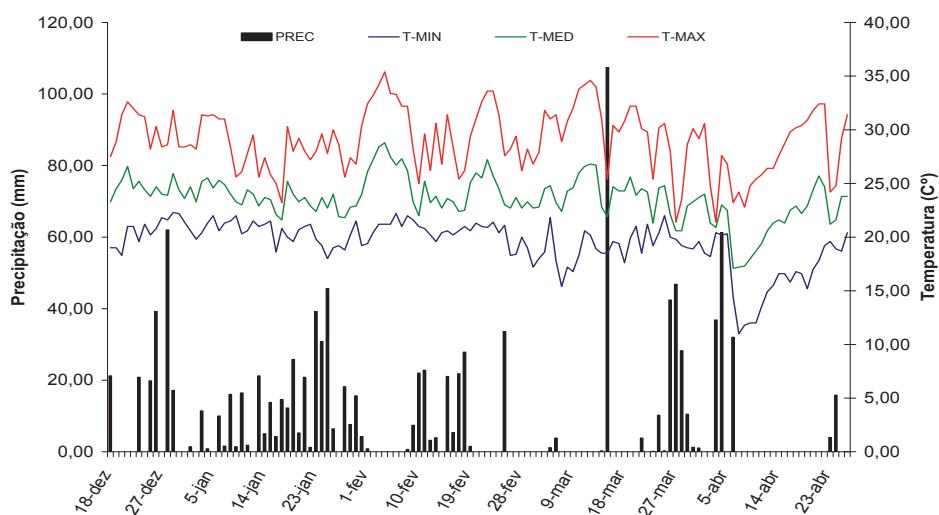
Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Escola da Universidade Estadual de Londrina – UEL, localizada à 23°20'23.45" S, 51°12'32.28" W, 532 m de altitude, no município de Londrina-PR. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo subtropical úmido mesotérmico Cfa, com precipitação média anual de 1.614 mm. A temperatura média anual é de 20,2°C, sendo a média das máximas 27,0°C e das mínimas 14,8°C. Os dados climáticos observados durante o ciclo do experimento são apresentados na Figura 1 (IAPAR, 2010).

O experimento seguiu um esquema fatorial 6x2 em blocos casualizados, com 12 tratamentos e quatro repetições, totalizando 48 parcelas. Foram avaliadas seis fontes de P, constituídos pelo controle (sem P), Superfosfato triplo – SFT (P-solúvel), fosfato de Gafsa (fosfato natural de origem sedimentar reativa), fosfato Itafós (fosfato natural de origem sedimentar não reativa), SFT+Gafsa e SFT+Itafós, associadas a dois níveis de inoculação com *Pseudomonas fluorescens* da Estirpe 1008 via sementes (sem e com). O P foi aplicado na dose de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅ via solo, sendo que nas combinações (SFT+Gafsa e SFT+Itafós), utilizou-se 60 kg de Pha⁻¹ para cada fonte do nutriente.

Para a fonte de P solúvel (SFT), a aplicação foi realizada diretamente no sulco de semeadura, e para as fontes naturais (Gafsa e Itafós), utilizou-se aplicação a lanço na superfície, sem incorporação. Assim, quando houve a aplicação conjunta das fontes, as mesmas foram aplicadas separadamente. Junto aos tratamentos fosfatados, aplicou-se 60 kg ha⁻¹ de KCl, no sulco.

Figura 1. Ciclo da cultura, dados diários de precipitação pluvial e temperaturas máximas, médias e mínimas durante a condução do experimento para a cultura do milho, safra 2009/2010 (S=semeadura, E=emergência, F=florescimento pleno, C=colheita).



Fonte: IAPAR, 2010.

A concentração de P_2O_5 total e solubilidades em H_2O , citrato neutro de amônio + H_2O (CNA+ H_2O) e ácido cítrico a 2% (A.C.) das fontes de P utilizadas são apresentados na Tabela 1. De acordo com a Legislação, as exigências mínimas para um fosfato ser reativo são as seguintes: 27% de P_2O_5 total, mínimo de 30% do teor total solúvel em A.C.

na relação 1:100, ou mínimo de 55% do teor total solúvel em ácido fórmico a 2% (BRASIL, 2007).

O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho eutroférico (EMBRAPA, 2006) constituído por 80% de argila, cujas características químicas são apresentadas na Tabela 2. Não foi realizada calagem antes da instalação do experimento.

Tabela 1. Concentração de P_2O_5 total, solubilidades de P_2O_5 das fontes de P utilizadas em H_2O , em citrato neutro de amônio + H_2O (CNA+ H_2O) e em ácido cítrico a 2% (A.C.) relação 1:100.

FONTE	TOTAL	H_2O	% P_2O_5		A.C.
			CNA+ H_2O	A.C.	
SFT	45,00	37,00	41,00	40,40	
GAFSA	29,58	0	6,51	10,00	
ITAFÓS	23,17	0	-	5,50	

Fonte: Prochnow, Alcarde e Chien (2004).

Tabela 2. Características químicas do solo da área experimental na profundidade 0-20 cm.

pH CaCl ₂	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Al ⁺³	H+Al	CTC	V%	P*	Zn	B	C
						cmol _c dm ⁻³				mg dm ⁻³	g dm ⁻³
4,90	3,51	0,69	0,32	0,12	4,61	9,12	49,50	6,61	1,35	0,72	13,40

*Mehlich-1

Fonte: Elaboração dos autores.

Utilizou-se o cultivar híbrido AG 8088, o qual possui a tecnologia YieldGard e o evento Mon 810 sendo modificada geneticamente com o gene da bactéria *Bacillus thuringiensis*. Esta característica é expressa como toxina para vários tipos de insetos-praga, promovendo o controle de lagartas como a broca-do-colmo, e a supressão da lagarta-do-cartucho e da lagarta-da-espiga. O AG 8088 é um híbrido simples com alto potencial de produtividade de grãos, possui excelente sanidade foliar, ciclo precoce e grão duro de cor alaranjada. É adaptável a regiões abaixo de 700 m de altitude, necessita de 871 graus dias para completar o ciclo e, densidade de 55-60 mil plantas ha⁻¹ (AGROCERES, 2011).

As sementes foram tratadas com o fungicida Maxim® XL (Fludioxonil + Metalaxyl-M), na dose de 100 mL por 100 kg de sementes. A dose utilizada na inoculação de *P. fluorescens*, nas sementes foi de 140 mL ha⁻¹, sendo 100 mL ha⁻¹ do inoculante Rizofós®, contendo a Estirpe 1008 (coleção de culturas da Rizobacter Argentina S.A.) na concentração de 10⁸ células g⁻¹ (inoculante) e 40 mL ha⁻¹ de Premax R (protetor).

A semeadura ocorreu no dia 18/12/2009 de forma convencional. Aos 10 dias após emergência (DAE), realizou-se desbaste para obtenção de uma população final de 55 mil plantas ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada em duas etapas, uma no estádio V4 e outra no V6. Utilizou-se uréia com aplicação de 100 kg de N ha⁻¹ (50 kg de N ha⁻¹ cada etapa) para todos os tratamentos. Após a adubação de cobertura, realizou-se incorporação total cobrindo o fertilizante com solo, utilizando enxada. O controle de plantas daninhas durante o ciclo da cultura foi realizado por meio de cultivador e capina manual. Não foi necessário realizar o controle de pragas durante o seu estádio vegetativo devido a tecnologia presente no híbrido utilizado.

As parcelas foram constituídas por seis linhas de cinco metros de comprimento espaçadas em 0,9 m entre elas. Foram desconsideradas as duas linhas laterais e 0,5 m das extremidades das mesmas, sendo 14,4 m² a área útil de cada parcela.

No estádio VT (pendoamento), aos 55 DAE, realizou-se avaliações da altura da planta (AP), diâmetro do colmo (DC) e altura da inserção da espiga (AIE). A altura da planta foi determinada medindo a distância do colo da planta à extremidade superior do pendão. O diâmetro do colmo foi medido no primeiro entrenó acima do solo, com o auxílio de um paquímetro manual, no sentido de disposição das folhas. A altura da inserção da espiga foi determinada medindo-se o comprimento do colo da planta até a inserção da primeira espiga desenvolvida. Estas avaliações foram expressas em centímetros.

Aos 65 DAE, no estádio R1 (início do florescimento e polinização), coletou-se quatro plantas por parcela para as determinações de área foliar (AF), massa seca de folhas (MSF) e massa seca total da planta (MST). A área do limbo foliar foi obtida com o auxílio de um medidor de área foliar, Li-Cor, modelo LI-3100, sendo os resultados expressos em cm². Após esta etapa, as folhas e as demais partes da planta (pendão, espiga e colmo) foram transferidas para a estufa, à temperatura de 65°C. Atingida a massa seca constante, todas as partes foram pesadas em balança semi-analítica para obtenção da massa seca de folhas (MSF) e total (MST). As amostras das folhas, correspondentes a cada parcela foram trituradas em moinho tipo Willey, e posteriormente armazenadas em frasco de vidro subsequente à digestão nitroperclórica e dosagem colorimétrica (Metavanadato). A análise química para a determinação do P foi realizada conforme descrito em Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). Para a análise de tecido de P, foram coletadas todas as folhas de quatro plantas por parcela, consistindo, portanto, em uma metodologia diferente à utilizada na maioria dos trabalhos.

Por ocasião da colheita, aos 130 DAE no estádio R6, coletou-se aleatoriamente dez espigas na área útil de cada parcela, para a realização das seguintes determinações: número de grãos por espiga (NG), massa de 100 grãos (M100), teor de P nos grãos (PG) e índice de colheita (IC).

Das espigas, contou-se individualmente, o número de fileiras de grãos e o número de grãos por fileiras, obtendo-se o valor médio. Na multiplicação destes fatores, obteve-se o número de grãos por espiga. Após a debulha das dez espigas colhidas na área útil da parcela, realizou-se a homogeneização do lote, e posteriormente, separou-se 100 grãos para pesagem em balança digital, obtendo-se a massa de 100 grãos.

A produtividade de grãos foi obtida por meio da pesagem dos grãos obtidos de todas as espigas colhidas na área útil da parcela, corrigindo a umidade para 13% e transformando os dados em kg ha⁻¹. O teor de água dos grãos foi obtido por um medidor de capacidade digital, G600. O aparelho foi ajustado e calibrado para a cultura do milho.

As amostras de grãos de milho correspondentes aos blocos no campo foram submetidas à secagem, moídas e analisadas posteriormente para determinação do teor de P (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). O índice de colheita foi determinado pela relação massa de grãos/massa seca total de parte aérea da planta. A massa de grãos e a massa seca total da planta foram representadas pela produtividade de grãos e massa seca total das plantas de cada parcela, em kg ha⁻¹.

A eficiência agronômica relativa (EAR) foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\text{EAR (\%)} = \frac{Y_{\text{tratamento } i} - Y_{\text{controle}}}{Y_{\text{tratamento padrão}} - Y_{\text{controle}}}$$

Onde:

$Y_{\text{tratamento } i}$: é a resposta média obtida com a aplicação da fonte i ;

$Y_{\text{tratamento padrão}}$: é a resposta média obtida da fonte padrão sem inoculação (SFT) =100%;

Y_{controle} : é a resposta média obtida do controle sem inoculação (sem P) =0%;

Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Resultados e Discussão

Para as variáveis analisadas por ocasião do florescimento masculino, houve efeito significativo de fontes de P para massa seca de folhas (MSF) e massa seca total (MST). A inoculação de *P. fluorescens* nas sementes influenciou significativamente a altura da inserção da espiga (AIE). Para altura de plantas (AP) e teor de P foliar (PF) houve interação significativa entre os fatores avaliados (Tabela 3).

Para AIE, DC e AF, não houve efeito significativo de fontes. Corroborando com esses resultados, Pauletti et al. (2010) também não observaram efeito da aplicação de P na altura de inserção de espigas em plantas de milho. Sarker, Karmoker e Rashid (2010), afirmam que a deficiência de P prejudica a formação do colmo em plantas de milho, resultando em diâmetros menores. Grazia et al. (2003), relataram não ter observado aumentos no diâmetro do colmo com a adubação fosfatada. Plénet et al. (2000) e Plénet, Mollier e Pellerin (2000), mostraram que a deficiência de P reduz drasticamente o índice de área foliar, principalmente nas fases iniciais do ciclo da *Poaceae*. Na fase reprodutiva, a deficiência provoca a formação de espigas tortas e com falhas nas fileiras de grãos, além da maturação tornar-se retardada e desuniforme (FORNASIERI FILHO, 2007).

Tabela 3. Dados médios de área foliar (AF), altura de planta (AP), altura de inserção da espiga (AIE), diâmetro do colmo (DC), massa seca foliar (MSF), massa seca total (MST) e teor de P foliar (PF) em plantas de milho em função de diferentes fontes de P, com e sem a inoculação de *Pseudomonas fluorescens*.

CAUSA DE VARIAÇÃO	AP	AIE	DC	AF	MSF	MST	PF
Fontes de P	-----cm-----			cm ²	----- kg ha ⁻¹ -----		g kg ⁻¹
CONTROLE (sem P)	188,68	110,88	3,26	33498,22	3456,93 B	15632,45 ABC	1,1
SFT	201,73	111,03	3,27	38125,37	4205,10 A	17631,97 A	1,6
GAFSA	190,23	104,23	3,26	35948,82	3758,39 AB	12577,30 C	2,0
ITAFOS	187,63	103,48	3,18	36304,63	3853,79 AB	12955,59 BC	2,1
SFT+GAFSA	193,95	111,70	3,24	35085,13	4044,57 AB	15776,75 ABC	2,4
SFT+ITAFÓS	192,88	102,20	3,43	37960,73	4203,38 A	16565,49 AB	2,7
Níveis de Inoculação							
Sem inoculante	191,16	104,66 b	3,24	36373,01	3979,43	15306,31	1,9
Com inoculante	193,87	109,84 a	3,29	35934,62	3861,29	15073,54	2,0
					VALOR DE F		
Fonte	3,36*	2,18 ^{ns}	0,83 ^{ns}	2,03 ^{ns}	2,80*	5,26*	11,07*
Inoculante	1,41 ^{ns}	4,58*	0,29 ^{ns}	0,19 ^{ns}	0,69 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Fonte X Inoculante	3,17*	2,33 ^{ns}	1,00 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1,22 ^{ns}	1,02 ^{ns}	3,67*
CV(%)	4,10	7,82	8,33	9,64	12,53	16,33	24,94

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a p<0,05.

* e ^{ns}: significativo a 5% e não significativo.

Fonte: Elaboração dos autores.

Considerando a análise química do solo, a qual foi realizada antes da instalação deste experimento, o teor de P (6,61 mg dm⁻³) é considerado médio (COELHO; FRANÇA, 1995), levando-se em conta o teor de argila (>60%). Assim, como não foi observado os sintomas que caracterizam a deficiência de P na fase reprodutiva do milho, pode-se afirmar que este teor proporcionou suporte de P necessário para que as plantas de milho crescessem e se desenvolvessem até o florescimento, não apresentando diferenças nas variáveis AIE, DC e AF entre as fontes de P aplicadas.

Amanullah et al. (2010), observaram aumentos significativos na AF aplicando fosfatos solúveis (DAP e SFS) em relação ao controle (solo argiloso com 6,57 mg dm⁻³ de P), diferindo dos dados deste estudo. Além do teor de P ter-se encontrado em um nível intermediário, outro fator que pode ter favorecido o desenvolvimento da AF foi a regular precipitação ocorrido durante o cultivo da cultura (1111,77 mm). A população microbiana aumenta nos períodos de chuva, e provavelmente favorecem

a degradação dos resíduos culturais predispondo a ciclagem dos nutrientes (OSAKI, 2008).

Embora não tenha sido detectado efeito de fontes de P para AF, houve diferença significativa do SFT e SFT+Itafós em relação ao controle para massa seca de folhas (MSF), e SFT em relação ao fosfato de Gafsa e Itafós para massa seca total (MST) (Tabela 3).

A aplicação isolada de SFT para MSF não diferiu da aplicação dos fosfatos naturais isolados e dos tratamentos combinados (Tabela 3). Piaia et al. (2002) e Franzini, Muraoka e Mendes (2009), afirmaram que a disponibilidade de P de uma fonte insolúvel pode ser aumentada se combinada com uma fonte solúvel de P. Esta combinação é interessante, devido aos fosfatos reativos possuírem eficiência similar aos solúveis em água quando computado o efeito residual a longo prazo (GOEDERT; LOBATO, 1984). Entretanto, esta maior disponibilização depende da forma em que se aplica o fertilizante fosfatado no solo (FRANZINI et al., 2009). Oliveira Junior (2007), observou

melhores resultados na aplicação do fosfato reativo a lanço, comprovando a necessidade do maior contato com o solo para acelerar a disponibilidade gradual do P para a planta. Ernani, Steckling e Bayer (2001), observaram aumentos na MSF utilizando DAP em relação ao Arad, em um solo não corrigido. Batista et al. (2009), avaliando o efeito de fontes de P em diferentes concentrações de alumínio em um solo arenoso, relataram aumentos na massa seca de parte aérea, aplicando SFT em relação ao Arad. Corrêa et al. (2005), em solo com maior capacidade de fixação de P, observaram aumentos na massa seca de parte aérea utilizando SFT, em relação ao Gafsa. Segundo Kaminski e Peruzzo (1997), o efeito residual das fontes de menor solubilidade, pode com o tempo, compensar a indisponibilidade deste elemento em relação aos primeiros cultivos, sendo proporcional ao ganho inicial das fontes solúveis.

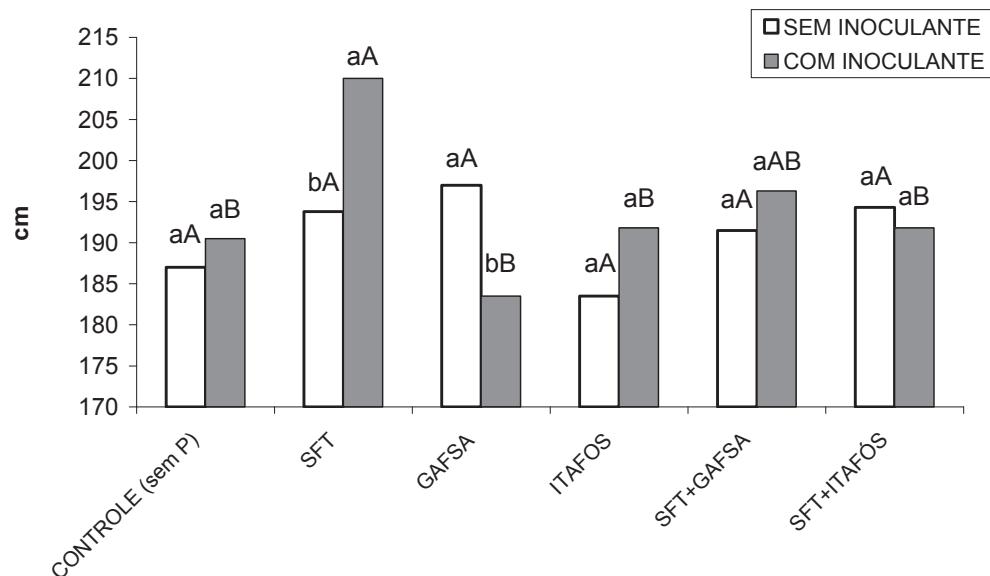
Os fosfatos de Gafsa e Itafós aplicados individualmente mostraram-se inferiores ao SFT para MST. Contudo, quando combinados com a fonte solúvel foram estatisticamente igual ao SFT (Tabela 3). Estes resultados estão de acordo com os trabalhos de Piaia et al. (2002) e Franzini, Muraoka e Mendes (2009), que obtiveram incrementos positivos para massa seca de parte aérea, cuja relação é diretamente relacionada ao MST. Esta aplicação de fosfatos naturais combinados com fosfatos solúveis sugere uma alternativa viável para a correção fosfatada nos sistemas de produção agrícolas, principalmente a longo prazo.

A inoculação com a rizobactéria *P. fluorescens* favoreceu a altura da inserção da espiga (AIE em

relação à não inoculação) (Tabela 3). Muitas bactérias rizosféricas proporcionam aumentos fitométricos da raiz à parte aérea, favorecendo o crescimento e o desenvolvimento das culturas (HARTHMANN et al., 2010). A promoção do crescimento de plantas pode ser realizada por rizobactérias antagonistas a microrganismos fitopagênicos e outros deletérios, que reduzem o crescimento das plantas. As características mais comuns a este tipo de antagonismo envolvem a produção de sideróforos e antibióticos, cujo efeito é atribuído à produção microbiana de hormônios vegetais ou reguladores do crescimento vegetal (CATELAN; HARTEL, 2000). Contudo, esse aumento também pode ser devido à disponibilização de formas não lábeis de P ou ainda, devido à promoção do crescimento radicular.

O desdobramento da interação de fontes de P e níveis de inoculação com *P. fluorescens* para altura de plantas (AP) é apresentado na Figura 2. Quando associadas com a inoculação de *P. fluorescens* o SFT isolado resultou em maior AP, não diferindo, entretanto, do SFT+Gafsa. Na ausência de inoculação as fontes de P não diferiram em relação à AP. Kumaresn, Shanmugasundaram e Balasubramanian (2001), encontraram aumentos na altura e massa seca de plantas de milho aplicando 75% do recomendado de SFS. O resultado destes autores está de acordo com este estudo, onde as combinações do P solúvel com os fosfatos naturais somente utilizou-se 50% da dose aplicada, e obteve resultados semelhantes ao SFT isolado.

Figura 2. Desdobramento da interação entre fontes de P e níveis de inoculação via sementes de *P. fluorescens* para altura de plantas de milho (AP). Letras maiúsculas equivalem às fontes de P comparadas em cada nível de inoculação (colunas de mesma cor), e minúsculas aos níveis de inoculação de *P. fluorescens* em cada fonte de P (colunas pareadas), a qual sendo diferentes entre si são significativas pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ (já expresso na Tabela 3).



Fonte: Elaboração dos autores.

Quando utilizado a fonte de P solúvel (SFT), a inoculação proporcionou maior altura de plantas, em relação à não inoculação (Figura 2). Para o fosfato de Gafsa, a não inoculação de *P. fluorescens* favoreceu a AP em relação à presença da inoculação. Então, provavelmente, o problema não esteja nos microrganismos do solo e nem no clima, e sim no fosfato de Gafsa. Este pode ser um fator intrínseco, existindo incompatibilidade na inoculação destas rizobactérias associadas à esta fonte.

Tratando-se de plantas e microrganismos, diferentes mecanismos na excreção de H⁺ (ARCAND; SCHNEIDER, 2006), na produção de ácidos orgânicos (ESPINOSA-VICTORIA; LÓPEZ-REYES; DE LA CRUZ-BENÍTEZ, 2009), ácidos inorgânicos e agentes quelantes podem fornecer aumentos na eficiência de solubilização de fosfatos (JEON et al., 2003). Assim, o melhor resultado de altura de plantas observado com a utilização da fonte solúvel, pode ter ocorrido devido à diminuição do pH do solo, sendo favorecida pela

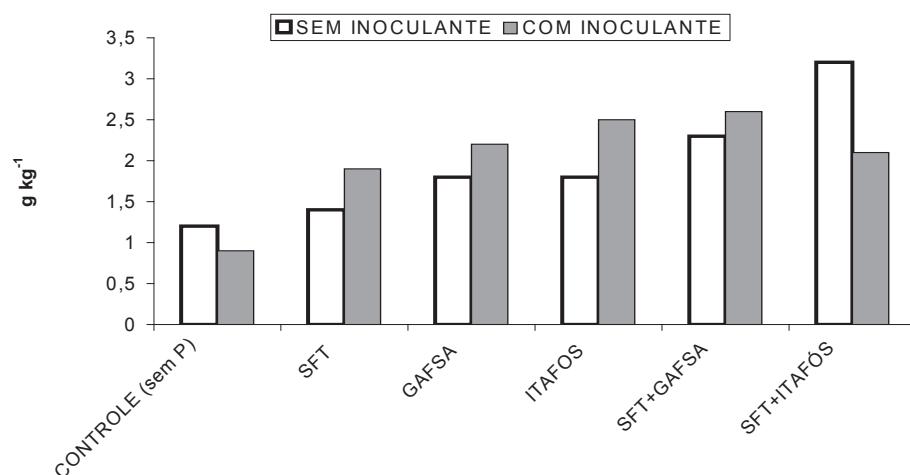
produção de ácidos orgânicos e inorgânicos realizado pelas plantas e pelas rizobactérias na rizosfera, associadas à hidrólise do fosfato promovida pelo SFT (BRAGA; AMARAL, 1971).

Para altura de plantas de milho, Chabot, Antoun e Cescas (1996), relataram aumentos inoculando isolados de *Pseudomonas* e *Rhizobia*, aplicando metade da dose recomendada de P. Fankem et al. (2008), em solo ácido e escasso de P, obtiveram maiores valores de altura e massa seca de plantas de milho em duas das três estirpes de *P. fluorescens* utilizadas, em relação ao controle. No milho, Vyas e Gulati (2009), também encontraram diferenças significativas na altura de plantas de milho, entre a inoculação de 15 estirpes de *Pseudomonas* em relação ao tratamento não inoculado, com destaque para a estirpe BIHB 759. Assim como, Biari, Gholami e Rahmani (2008), encontraram efeitos positivos na altura de plantas de milho utilizando *Azospirillum* e *Azotobacter*. Também considerando plantas de trigo, devido esta pertencer à família Poaceae, Carlier et

al. (2008), encontraram aumentos na AP de 14% na inoculação de *P. chlororaphis*, e Luz (2001), com aumentos utilizando várias espécies de RPCPs, sendo ambos os trabalhos significativos em relação ao controle. O presente trabalho está de acordo com (CHABOT; ANTOUN; CESCAS, 1996; BIARI; GHOLAMI; RAHMANI, 2008; FANKEM et al., 2008; VYAS; GULATI, 2009), a qual obtiveram aumentos na AP inoculando RPCPs em relação ao controle, na cultura do milho. Estes trabalhos reforçam a idéia de que as RPCPs são eficientes, fazendo dessas uma opção viável para o aumento da altura e da massa seca das plantas.

Ehteshami et al. (2007), afirmaram que as RPCPs são mais eficazes na promoção do crescimento das plantas sob suprimento limitado de nutrientes.

Figura 3. Desdobramento da interação entre fontes de P e níveis de inoculação via sementes de *P. fluorescens* para teor de P foliar em milho (PF). Letras maiúsculas equivalem às fontes de P comparadas em cada nível de inoculação (colunas de mesma cor), e minúsculas aos níveis de inoculação de *P. fluorescens* em cada fonte de P (colunas pareadas), pelo teste de Tukey.



Fonte: Elaboração dos autores.

No tratamento Itafós a inoculação de *P. fluorescens* favoreceu o PF em relação ao tratamento não inoculado. Já para o SFT+Itafós a ausência da inoculação promoveu maior teor de PF em relação à presença da rizobactéria.

Esitken et al. (2010), observaram maior teor de P nas folhas de milho com a inoculação de *Bacillus*,

Assim, a inoculação com *P. fluorescens* pode não ter sido significante para o controle, assim como para outras fontes de P estudadas, devido o teor de P não estar crítico, tornando a ação da rizobactéria menos nítida.

Para PF, os tratamentos SFT+Itafós e SFT+Gafsa foram superiores em relação ao tratamento controle sem inoculação, e SFT+Itafós, SFT+Gafsa, Itafós e Gafsa em relação ao controle inoculado, sendo significativo para fontes de P (Figura 3). O maior valor observado para PF entre as fontes de P foi SFT+Itafós sem inoculação, a qual apresentou incremento médio de 167% no teor de P foliar, em relação ao controle sem inoculação.

devido à sua capacidade de solubilização do fosfato. Jeon et al. (2003), avaliaram a solubilização de fosfato por três isolados de *P. fluorescens* e *Bacillus* sp. Naz e Bano (2010) relataram três espécies do gênero *Pseudomonas* capazes de solubilizar fosfato inorgânico por intermédio da produção de fitormônios. Aumentos no teor de P nas folhas com a inoculação de RPCPs pode ser explicado

pela capacidade de solubilizar fosfato que esta bactéria possui, e também pela produção de ácidos orgânicos pelas plantas e bactérias na rizosfera, a qual estimula principalmente a disponibilidade de P na solução do solo (ESITKEN et al., 2010). Estes trabalhos evidenciam o papel da *P. fluorescens* no aumento da solubilização de P para as plantas. O trabalho de Esitken et al. (2010) está de acordo com o presente estudo, a qual utilizando RPCPs como inoculante em sementes de milho, obtiveram maior PF.

No tratamento Itafós, este como um fosfato de origem sedimentar não reativo (BRASIL, 2007), obteve-se superioridade para PF com a inoculação da rizobactéria em relação ao tratamento não inoculado. Este resultado idealiza o fato de que a inoculação com *P. fluorescens* via semente solubilizou P inorgânico para a solução aumentando sua concentração no meio, e consequentemente, a planta obteve maior absorção foliar. No tratamento em que houve a combinação de SFT+Itafós, o efeito foi contrário, sendo a não inoculação de *P.*

fluorescens superior à inoculação via semente. A rizobactéria mostrou maior resposta no fosfato mais insolúvel a qual não há P disponível.

Para número de grãos por espiga (NG), massa de 100 grãos (M100), teor de P nos grãos (PG), produtividade de grãos (PROD) e índice de colheita (IC) não houve efeito de fontes de P (Tabela 4). Rivéra-Hernandez et al. (2010), observaram aumentos no número de fileiras e grãos por fileira em plantas de milho em função da adubação fosfatada. Já Narang, Singh e Singh (1989) relataram aumentos na massa de 100 grãos com adubação fosfatada. Amanullah et al. (2009), avaliando diferentes fontes de P, relataram aumentos na massa de 100 grãos e na produção de grãos com fosfatos solúveis. Entretanto, todos estes experimentos foram instalados em condições limitantes de P, enfatizando o efeito do adubo fosfatado nos componentes de produção quando existe a deficiência deste elemento. Diferente da condição deste experimento, a qual possuiu teores médios de P no solo.

Tabela 4. Dados médios número de grãos por espiga (NG), massa de 100 grãos (M100), teor de P nos grãos (PG), produtividade de grãos (PROD) e índice de colheita (IC) em plantas de milho em função de diferentes fontes de P, com e sem a inoculação de *Pseudomonas fluorescens*.

CAUSA DE VARIAÇÃO	NG	M100	PG	PROD	IC
Fontes de P		g	g kg ⁻¹	kg ha ⁻¹	
CONTROLE (sem P)	592,89	30,38	2,69	6190,43	0,29
SFT	641,57	31,69	3,19	7296,28	0,30
GAFSA	607,97	31,63	3,58	6418,51	0,34
ITAFOS	610,36	30,25	4,70	6428,19	0,34
SFT+GAFSA	619,72	30,44	3,75	6603,75	0,29
SFT+ITAFÓS	618,73	31,88	3,75	6665,16	0,29
Níveis de Inoculação					
Sem inoculante	617,43	31,19	3,34	6381,46	0,30
Com inoculante	612,72	30,90	3,88	6819,31	0,32
VALOR DE F					
Fonte	1,47 ^{ns}	1,08 ^{ns}	1,69 ^{ns}	0,80 ^{ns}	1,14 ^{ns}
Inoculante	0,19 ^{ns}	0,24 ^{ns}	1,62 ^{ns}	1,60 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Fonte X Inoculante	0,29 ^{ns}	0,36 ^{ns}	1,62 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,74 ^{ns}
CV(%)	6,07	6,66	40,38	18,18	20,33

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey.

^{ns}: não significativo.

Fonte: Elaboração dos autores.

Carneiro et al. (2008), não encontraram significância entre fosfato solúvel e insolúvel para o teor de P nos grãos de milho (4,1 e 4,2 g kg⁻¹, respectivamente). Tang et al. (2008), observaram o teor de 2,1 g kg⁻¹ de P nos grãos de milho aplicando NPK, em 15 anos de rotação com trigo. Estes valores estão de acordo com a variação ocorrida no presente estudo para teor de P nos grãos (PG) (2,7-4,7 g kg⁻¹).

Tratando-se da PROD, é provável que os fatores estudados não tenham exercido efeito devido ao teor de P no solo encontrar-se em um nível adequado. O P presente no solo na ausência de adubação fosfatada supriu a necessidade de P da planta, a qual obteve a produção de 6190 kg ha⁻¹ de grãos, estatisticamente igual à maior produtividade (7296,28 kg ha⁻¹) obtida com o SFT. Como a lixiviação de P no solo não é uma realidade em condições tropicais, ele tende a se acumular no solo (COELHO; FRANÇA, 1995), de modo que, o efeito da adubação corretiva perdura por vários anos, principalmente quando se utilizam fosfatos de liberação lenta, como os fosfatos naturais não reativos (GOEDERT; LOBATO, 1984).

Pauletti et al. (2010), com a aplicação do fosfato Carolina do Norte e Gafsa em relação ao SFT, encontraram resultados semelhantes de produtividade de grãos em vários cultivos seqüentes. No presente trabalho, os fosfatos reativos Gafsa e Itafós, tanto quanto as combinações SFT+Gafsa e SFT+Itafós, inclusive o controle, foram estatisticamente iguais ao SFT isolado.

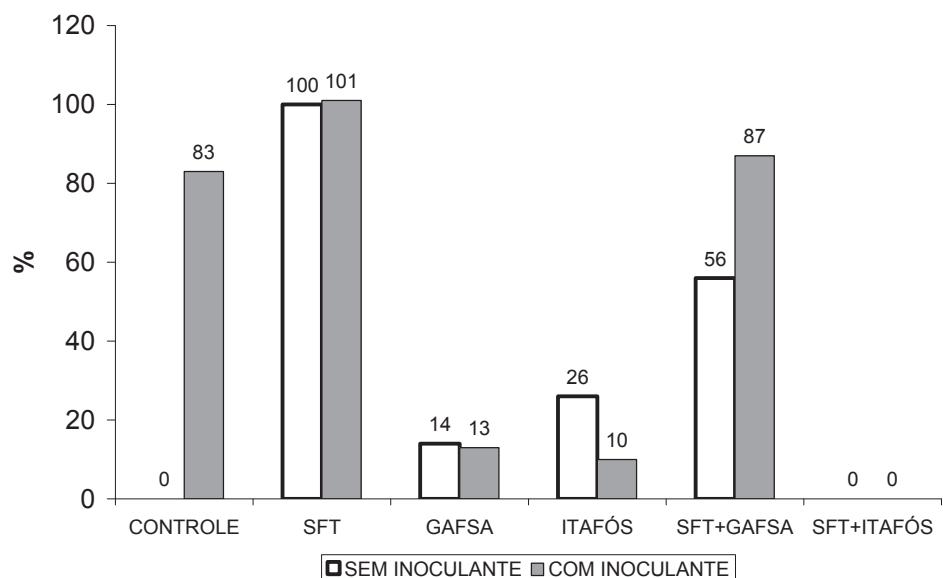
Há uma notável diferença entre genótipos de milho na capacidade de alocar massa seca de grãos (SANGOI; SALVADOR, 1997). Rivéra-Hernández et al. (2010), não observaram efeito no IC com a adubação fosfatada em plantas de milho, atingindo uma média de 0,28. Amanullah, Malhi e Khattak (2009), relataram diferença entre fontes fosfatadas na cultura do milho, obtendo uma variação no IC de 0,32 a 0,39. Estes valores estão de acordo com os resultados obtidos para esta variável (0,29 a 0,34).

Não houve efeito significativo dos níveis de inoculação para as características apresentadas na Tabela 4. Segundo Ehteshami et al. (2007), as RPCPs apresentam maior efeito em solos com deficiência de nutrientes. Estes autores não obtiveram efeitos na produtividade de grãos e componentes de produção com a inoculação individual de *P. fluorescens*.

Na Figura 4, são apresentados os dados da eficiência agronômica relativa (EAR) dos tratamentos, calculada com base nas respostas das plantas quanto à produtividade de grãos (PROD), sendo o SFT (sem inoculação), a fonte padrão (100%). A aplicação das fontes naturais de P (Gafsa e Itafós) apresentou baixos valores de EAR. A fonte SFT+Gafsa (sem inoculação) resultou em 56% de EAR.

Na inoculação de *P. fluorescens* para o controle (sem adição de P), houve 83% de EAR. Na fonte SFT+Gafsa, a inoculação da rizobactérias partiu de 56%, resultando em 87%. As *P. fluorescens* podem ter maximizado a disponibilidade de P para as plantas pelo mecanismo da produção de ácidos orgânicos produzidos pelos microrganismos e pela raiz (JEON et al., 2003), mesmo não havendo limitação deste nutriente no solo (Figura 4). Os menores valores de EAR das fontes de Gafsa e Itafós estão relacionados com a fração não-solúvel, quando se reduz o contato entre o solo e o fertilizante (KHASAWNEH; DOLL, 1978).

A fonte SFT+Itafós (sem e com inoculação) foi semelhante ao controle (sem inoculação). Este resultado pode ter ocorrido devido à condição deste solo (argiloso com teor intermediário de P), a qual pode ter fixado todo o P solúvel (SFT) devido aos altos teores de óxidos de ferro e alumínio que este solo contém, e não solubilizado o P insolúvel (Itafós) devido à esta fonte fosfatada ser natural não reativa (Figura 4).

Figura 4. Eficiência Agronômica Relativa (EAR) das fontes de P para produtividade de grãos (PROD).

Fonte: Elaboração dos autores.

Considerando a boa distribuição de chuvas ocorrida na safra 2009/10, tende a ocorrer proliferação microbiana no solo, tornando a condição melhor para o crescimento e desenvolvimento das plantas devido à maior decomposição de resíduos vegetais e ciclagem dos nutrientes no solo (OSAKI, 2008). Desta forma, a condição imposta neste experimento, com teor adequado de P no solo e precipitação bem distribuída durante o ciclo da cultura, não caracterizando limitação para o crescimento e desenvolvimento das plantas. Pode-se afirmar que estes fatores não foram favoráveis para *P. fluorescens* na solubilização de fosfato inorgânico e na promoção de crescimento das plantas, apesar de haver significância estatística com a inoculação da rizobactéria para AIE, AP e PF.

Mesmo nesta condição mediana de P no solo, a cultura do milho respondeu às fontes SFT e SFT+Itafós para MSF em relação ao controle, e SFT+Itafós para MST, em relação ao fosfato de Gafsa. Este resultado demonstra a importância deste nutriente à cultura, e o potencial que estas fontes possuem em aumentar a massa seca de plantas de milho.

Com a inoculação de *P. fluorescens*, o controle (sem adição de P) não apresentou diferenças significativas para PROD. Entretanto, esta aplicação proporcionou um aumento de 1105,05 kg ha⁻¹, equivalente a 18,4 sacas ha⁻¹. Tratando-se das fontes fosfatadas, pode-se realizar o manejo da adubação fosfatada aplicando-se fosfatos naturais e acidulados, mantendo-se o nível tecnológico utilizado. Assim, o teor adequado de P no solo é mantido com a disponibilidade imediata do mesmo com os acidulados, e liberado gradualmente com os naturais, possuindo alto potencial de produção vegetal das plantas de milho. Salienta-se a importância do estudo continuado da utilização de fosfatos naturais reativos, principalmente associados com fontes solúveis, e também das rizobactérias promotoras de crescimento de plantas.

Conclusão

As fontes naturais (fosfato de Gafsa e Itafós) proporcionam massa seca de folhas semelhante às fontes com presença de SFT, e o SFT aplicado conjuntamente com Itafós favoreceu o teor de P foliar.

A inoculação com *P. fluorescens* associada ao SFT promoveu a altura da inserção da espiga, e a altura de plantas.

A inoculação com *P. fluorescens* via sementes e as fontes de P não favoreceram a produtividade, porém, no controle (sem adição de P), a inoculação de *P. fluorescens* produziu 87% de EAR em relação ao SFT.

Agradecimentos

À Fundação Araucária por ter disponibilizado a concessão da bolsa durante o curso de Mestrado. Aos funcionários da FAZESC e do Laboratório de Fertilidade do Solo, e alunos da inclusão social, que foram indispensáveis para a condução deste experimento.

Referências

- AGROCERES – SEMENTES AGROCERES. AG8088YG. 2011. Disponível em: <http://www.sementesagroceres.com.br/?page_id=568>. Acesso em: 19 jan. 2011.
- AMANULLAH, A. M.; MALHI, S. S.; KHATTAK, R. A. Effects of phosphorus fertilizer source and plant density on growth and yield of maize in Northwestern Pakistan. *Journal of Plant Nutrition*, London, v. 32, n. 12, p. 2080-2093, 2009.
- AMANULLAH, A. M.; NAWAB, K.; SHAH, Z.; HASSAN, M.; KHAN, A. Z.; KHALIL, S. K.; HUSSAIN, Z.; TARIQ, M.; RAHMAN, H. Impact of planting density and P-fertilizer source on the growth analysis of maize. *Pakistan Journal of Botany*, Karachi, v. 42, n. 4, p. 2349-2357, 2010.
- ARCAND, M. M.; SCHNEIDER, K. D. Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 78, p. 791-807, 2006.
- BASHAN, Y.; BASHAN, L. E. Plant growth promoting bacteria. In: HILLEL, D. (Ed.). *Encyclopaedia of soils in the environment*. Oxford, UK: Elsevier, 2004. v. 1, p. 103-115
- BATISTA, M. A.; PINTRO, J. C.; COSTA, A. C. S.; TORMENA, C. A.; BONATO, C. M.; BATISTA, M. F. Mineral composition and dry mass production of the corn plants in response to phosphorus sources and aluminum concentration. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 52, n. 3, p. 541-548, 2009.
- BIARI, A.; GHOLAMI, A.; RAHMANI, H. A. Growth promotion and enhanced nutrient uptake of maize (*Zea mays* L.) by application of plant growth promotion rhizobacteria in arid region of Iran. *Journal of Biological Sciences*, New Jersey, v. 8, n. 6, p. 1015-1020, 2008.
- BOLAN, N. S.; ELLIOTT, J.; GREGG, P. E. H.; WEIL, S. Enhanced dissolution of phosphate rocks in the rhizosphere. *Biology and Fertility of Soils*, New York, v. 24, n. 1, 169-174, 1997.
- BRAGA, J. M.; AMARAL, F. A. Efeito de fontes de fósforo na variação de pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio. *Revista Ceres*, Viçosa, MG, v. 17, n. 3, p. 325-335, 1971.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura*. Instrução Normativa nº 5, Brasília, 2007.
- CARLIER, E.; ROVERA, M.; JAUME, A. R.; ROSAS, S. B. Improvement of growth, under field conditions, of wheat inoculated with *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aurantiaca* SR1. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, New York, v. 24, n. 11, p. 2653-2658, 2008.
- CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; CURÍ, N.; SANTOS, J. Z. L.; LAGO, F. J. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, 2008.
- CATTELAN, A. J.; HARTEL, P. G. Traits associated with plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). *Tópicos em Ciência do Solo*, Campinas, v. 1, n. 1, p. 213-234, 2000.
- CHABOT, R.; ANTOUN, H.; CESCAS, M. P. Growth promotion of maize and lettuce by phosphate-solubilizing *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 184, n. 2, p. 311-321, 1996.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. de. *Seja o doutor do seu milho: nutrição e adubação*. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1995. p. 1-9. (Arquivo do agrônomo, 2).
- CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; SOUZA, S. K. S.; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B. Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 62, n. 2, p. 159-164, 2005.

- EHTESHAMI, S. M.; AGHAALIKHANI, M.; KHAVAZI, K.; CHAICHI, M. R. Effect of phosphate solubilizing microorganisms on quantitative and qualitative characteristics of maize (*Zea mays L.*) under water deficient stress. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, Lasani Town Faisalabad, v. 10, n. 20, p. 3585-3591, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.
- ERNANI, P. R.; STECKLING, C.; BAYER, C. Características químicas de solo e rendimento de massa seca de milho em função do método de aplicação de fosfatos, em dois níveis de acidez. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 25, n. 6, p. 939-946, 2001.
- ESITKEN, A.; YILDIZ, H. E.; ERCISLI, S.; DONMEZ, M. F.; TURAN, M.; GUNES, A. Effects of plant growth promoting bacteria (PGPB) on yield, growth and nutrient contents of organically grown strawberry. *Scientia Horticulturae*, Amsterdam, v. 124, n. 1, p. 62-66, 2010.
- ESPINOSA-VICTORIA, D.; LÓPEZ-REYES, L.; DE LA CRUZ-BENÍTEZ, A. Use of 16S rRNA gene for characterization of phosphate-solubilizing bacteria associated with corn. *Revista Fitotecnia Mexicana*, Chapingo, v. 32, n. 1, p. 31-37, 2009.
- FANKEM, H.; NGO, L. N.; DEUBEL, A.; QUINN, J.; MERBACH, W.; ETOA, F. X.; NWAGA, D. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by strains of *Pseudomonas fluorescens* isolated acidic soils of Cameroon. *African Journal of Microbiology Research*, Lagos, v. 2, n. 7, p. 171-178, 2008.
- FORNASIERI FILHO, D. *Manual da cultura do milho*. Jaboticabal: Funep, 2007. 576 p.
- FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; LEÓN, H. M. C.; MENDES, F. L. Eficiência de fosfato natural reativo aplicado em misturas com superfosfato triplo em milho e soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 44, n. 9, p.1092-1099, 2009.
- FRANZINI, V. I.; MURAOKA, T.; MENDES, F. L. Ratio and rate effects of ^{32}P -triple superphosphate and phosphate rock mixtures on corn growth. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 66, n. 1, p. 71-76, 2009.
- GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 8, n. 1, p. 119-24, 1984.
- GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 15, n. 3, p. 311-318, 1980.
- GRAZIA, J.; TITTONELL, P. A.; GERMINARA, D.; CHIESA, A. Short communication: Phosphorus and nitrogen fertilisation in sweet corn (*Zea mays L.* var. *saccharata* Bailey). *Spanish Journal of Agricultural Research*, Madrid, v. 1, n. 2, p. 103-107, 2003.
- HARTHMANN, O. E. L.; MÓGOR, A. F.; WORDELL FILHO, J. A.; LUZ, W. C. Rizobactérias no crescimento e na produtividade da cebola. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 462-465, 2010.
- HOROWITZ, N. M.; MEURER, E. J. Eficiência de dois fosfatos naturais farelados em função do tamanho da partícula. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 41-47, 2003.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. *Monitoramento mensal*. 2010. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=641>>. Acesso em: 20 ago. 2010.
- JEON, J. S.; LEE, S. S.; KIM, H. Y.; AHN, T. S.; SONG, H. G. Plant growth promotion in soil by some inoculated microrganisms. *Journal of Microbiology*, Seoul, v. 41, n. 4, p. 271-276, 2003.
- KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. *Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo*. Santa Maria: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31 p. (Boletim técnico, 3).
- KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 30, p. 159-207, 1978.
- KUMARESN, M. A.; SHANMUGASUNDARAM, V. S.; BALASUBRAMANIAN, T. N. Integrated phosphorus management in maize (*Zea mays L.*) sunflower (*Helianthus annuus*)-cowpea (*Vigna unguiculata*) fodder cropping system. *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, v. 46, n. 3, p. 404-409, 2001.
- LUZ, W. C. Evaluation o plant growth-promoting and bioprotecting rhizobacteria on wheat crop. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v. 26, n. 3, p. 987-994, 2001.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: Potafós, 1997. 319 p.
- NAIMAN, A. D.; LATRÓNICO, A.; SALAMONE, I. E. G. Inoculation of wheat with *Azospirillum brasiliense* and *Pseudomonas fluorescens*: Impact on the production and culturable rhizosphere microflora. *European Journal of Soil Biology*, Paris, v. 45, n. 1, p. 44-51, 2009.
- NARANG, R. S.; SINGH, N.; SINGH. S. Response of winter maize (*Zea-mays L.*) to different soil-moisture regimes and phosphorus levels. *Indian Journal of Agronomy*, New Delhi, v. 34, n. 4, p. 402-405, 1989.

- NAZ, I.; BANO, A. Biochemical, molecular characterization and growth promoting effects of phosphate solubilizing *Pseudomonas* sp. isolated from weeds grown in salt range of Pakistan. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 334, n. 1-2, p. 199-207, 2010.
- OLIVEIRA JUNIOR, A. de. *Eficiência agronômica de fosfatos de rocha, utilizados isoladamente ou associados ao superfosfato triplo, para a cultura da soja*. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.
- OSAKI, F. *Distribuição espacial de microrganismos e fertilidade em solos de dois ecossistemas florestais: floresta ombrófila mista e povoamento florestal com Pinus taeda L. em Tijucas do Sul-PR*. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- PAULETTI, V.; SERRAT, B. M.; MOTTA, A. C. V.; FAVARETTO, N.; ANJOS, A. Yield response to fertilization strategies in no-tillage soybean, corn and common bean crops. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, Curitiba, v. 53, n. 3, p. 563-574, 2010.
- PIAIA, F. L.; REZENDE, P. M.; FURTINI NETO, A. E.; FERNANDES, L. A.; CORRÊA, J. B. Eficiência da adubação fosfatada com diferentes fontes e saturações por bases na cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 26, n. 3, p. 488-499, 2002.
- PLÉNET, D.; ETCHEBEST, S.; MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. I. Leaf growth. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 223, n. 1-2, p. 117-130, 2000.
- PLÉNET, D.; MOLLIER, A.; PELLERIN, S. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 224, n. 2, p. 258-272, 2000.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., Piracicaba, 2004. *Anais..* Piracicaba: Potafós/Anda, 2004. p. 605-664.
- RICHARDSON, A. E. Prospects for using soil microorganisms to improve the acquisition of phosphorus by plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, Collingwood, v. 28, n. 9, p. 897-906, 2001.
- RIVÉRA-HERNANDEZ, B.; CARRILLO-ÁVILA, E.; OBRADOR-OLÁN, J. J.; JUÁREZ-LÓPEZ, J. F.; ACEVES-NAVARRO, L. A. Morphological quality of sweet corn (*Zea mays* L.) ears as response to soil moisture tension and phosphate fertilization in Campeche, Mexico. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v. 97, n. 9, p. 1365-1374, 2010.
- ROSAS, S. B.; AVANZINI, G.; CARLIER, E.; PASLUOSTA, C.; PASTOR, N.; ROVERA, M. Root colonization and growth promotion of wheat and maize by *Pseudomonas aurantiaca* SR1. *Soil Biology and Biochemistry*, Oxford, v. 41, n. 9, p. 1802-1806, 2009.
- SANGOI, L.; SALVADOR, R. Dry matter production and partitioning of maize hybrids and dwarf lines at four plant populations. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 1-6, 1997.
- SARKER, B. C.; KARMOKER, J. L.; RASHID, P. Effects of phosphorus deficiency on anatomical structures in maize (*Zea mays* L.). *Bangladesh Journal of Botany*, Dhaka, v. 39, n. 1, p. 57-60, 2010.
- SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. *Adubação fosfatada em solos da região do cerrado*. Piracicaba: Potafós, 2003, 16 p. (Encarte Técnico. Informações Agronômicas, n. 102).
- TANG, X.; LI, J.; MA, Y.; HAO, H.; LI, X. Phosphorus efficiency in long-term (15 years) wheat-maize cropping systems with various soil and climate conditions. *Field Crops Research*, Amsterdam, v. 108, n. 3, p. 231-237, 2008.
- VYAS, P.; GULATI, A. Organic acid production *in vitro* and plant growth promotion in maize under controlled environment by phosphate-solubilizing fluorescent *Pseudomonas*. *BMC Microbiology*, London, v. 9, n. 174. 2009. Disponível em: <<http://www.biomedcentral.com/1471-2180/9/174>>. Acesso em: 10 dez. 2010.