

Rossini M. Corrêa<sup>1</sup>Clístenes W. A. do Nascimento<sup>2</sup>Fernando J Freire<sup>2</sup>Silvana K. de S. Souza<sup>2</sup>Gleibson B. da Silva<sup>2</sup>

# Disponibilidade e níveis críticos de fósforo em milho e solos fertilizados com fontes fosfatadas<sup>1</sup>

## RESUMO

Neste trabalho se busca, como objetivo inicial, avaliar a disponibilidade e os níveis críticos de fósforo para plantas de milho por diferentes extratores químicos, em dois solos (Argissolo Amarelo e Latossolo Amarelo) com diferentes capacidades de adsorção de fósforo (P) e adubados com fosfato natural de Gafsa ou superfosfato triplo. Os resultados mostraram que os extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 foram igualmente eficientes na avaliação da disponibilidade de P nos tratamentos com superfosfato triplo. Para o fosfato natural apenas os extratores Mehlich-3 e Bray-1 se mostraram adequados nesta avaliação. Os maiores valores de nível crítico no solo, com exceção do Mehlich-1, foram obtidos nos solos adubados com superfosfato triplo. O nível crítico de fósforo na matéria seca da parte aérea foi inversamente correlacionado com o fator capacidade dos solos e diretamente com a solubilidade da fonte de fósforo. A dose necessária para se atingir esse nível crítico foi diretamente correlacionada com o fator capacidade e inversamente com a solubilidade da fonte. O superfosfato triplo proporcionou maiores teores de fósforo na matéria seca da parte aérea e foi mais eficiente que o fosfato de Gafsa na produção de matéria seca no Latossolo.

**Palavras-chave:** fosfato natural, adubação fosfatada, extrator químico

## Availability and critical levels of phosphorus in maize and soils fertilized with phosphate sources

## ABSTRACT

This study had as objective to evaluate the availability and the critical levels of phosphorus in maize plants, by different chemical extractors, in two soils (Ultisol and Oxisol) with different phosphorus (P) adsorption capacity factor and fertilized with Gafsa rock phosphate or triple superphosphate. The results showed that Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1 were equally efficient in the evaluation of P availability in the treatments with triple superphosphate. For the rock phosphate only the extractors Mehlich-3 and Bray-1 were adequate in this evaluation. The highest values of critical level in the soil, with exception of the Mehlich-1, were observed in soils fertilized with triple superphosphate. The critical level of phosphorus in the shoot dry matter was inversely correlated with the capacity factor of soil and directly correlated with the solubility of the phosphorus source. The necessary dose to reach this critical level was directly correlated with the capacity factor and inversely correlated with the solubility of the source. The triple superphosphate provided higher concentration of P in the shoot dry matter and was more efficient than rock phosphate in the production of dry matter in the Oxisol.

**Key words:** rock phosphate, phosphorus fertilization, chemical extractants

<sup>1</sup> Eng. Agrônomo, UFRPE.

rossini.correa@rce.incra.gov.br

<sup>2</sup> Professor, Departamento de Agronomia da UFRPE,

Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos,

CEP 52171-900, Recife, PE, (81) 3320-6220.

clistenes@depa.ufrpe.br, f.freire@depa.ufrpe.br,

portela@hotlink.com.br, gleibsonsilva@bol.com.br

## INTRODUÇÃO

Em geral, os solos de clima tropical são de baixa fertilidade, com teores reduzidos de fósforo (P), considerado o elemento mais limitante à produção vegetal nessas condições (Lopes, 1984; Novais & Smyth, 1999). Para esses solos, os fertilizantes minerais fosfatados são significativos para o aumento ou manutenção da produtividade das culturas, fazendo-se oportuno o aprimoramento na avaliação da disponibilidade de P, especialmente naqueles solos que recebem aplicações rotineiras de fertilizantes fosfatados de diferentes fontes, com o objetivo de evitar desperdícios na aplicação deste insumo e maximização dos resultados econômicos.

Obtém-se os adubos fosfatados de maior solubilidade a partir da rocha fosfática depois de beneficiada e concentrada por tratamento químico, apresentando alta concentração de fósforo solúvel prontamente disponível às plantas (Raij et al., 1982). Os fosfatos naturais, por sua vez, podem ser pouco reativos, quando as apatitas não têm, ou têm pouquíssimas substituições isomórficas, como a maioria dos fosfatos naturais brasileiros, em decorrência de sua origem geológica (ígnea ou metamórfica); ou reativos, de origem sedimentar, com alto grau de substituição isomórfica do fosfato por carbonato na apatita, resultando em um cristal imperfeito e poroso e com baixa energia entrópica, podendo facilmente ser hidrolisados (Kaminski & Peruzzo, 1997). A aplicação de fosfatos naturais reativos é uma alternativa à aplicação de fontes de maior solubilidade (geralmente de custo mais elevado) que têm sido testadas em várias condições de solo e cultura (Coutinho et al., 1991; Rajan et al., 1996; Moreira & Malavolta, 2001). Em alguns trabalhos, essas fontes têm apresentado eficiência equivalente à de fosfatos solúveis (Choudhary et al., 1994), especialmente quando aplicadas a lanço (Motomiya et al., 2004) e se considerando o efeito residual (Goedert, 1983). Apesar de estar sendo utilizado no País há mais tempo, apenas nos últimos anos o fosfato reativo de Gafsa vem sendo comercializado em Pernambuco; estudos relativos ao seu comportamento nos solos desse estado são, portanto, incipientes.

A eficiência na avaliação do P disponível tem sido variável em função, dentre outros aspectos, do fator capacidade de P, da solução química extratora e da fonte de P utilizada como fertilizante; por exemplo, trabalhando com 24 amostras de solo e 4 extratores, Holford & Mattingly (1979) encontraram efeito significativo do fator capacidade de fósforo sobre a extração de P pelas soluções de Olsen e ácido acético + acetato de sódio. Oliveira et al. (2000) trabalhando com dez solos e testando os extratores Mehlich-1 e resina de troca aniônica, encontraram um coeficiente de variação de 50% para os valores de DP recuperado/DP aplicado para Mehlich-1, resultado que demonstra que este método foi mais sensível ao fator capacidade que a resina, a qual apresentou coeficiente de variação de 20%. Brasil & Muraoka (1997) avaliando a disponibilidade de P em cinco solos da Amazônia adubados com quatro fontes de fósforo (superfosfato triplo, termofosfato de Yoorin em pó e granulado e fosfato natural da Carolina do Norte), constataram que, entre os extratores utilizados, Mehlich-3 e Bray-1 apresentaram maior sensibilidade

às diferenças de fator capacidade dos solos; observou-se, ainda, que o Mehlich-1 extraiu maiores quantidades de P nos tratamentos com fosfato natural, superestimando o nível crítico do elemento. Muzzili (1982) também encontrou baixa correlação entre teores de P obtidos por Mehlich-1 e absorção do elemento por culturas adubadas com fosfato natural, resultado corroborado pelas baixas produtividades alcançadas.

A determinação do nível crítico de P em solos de diferentes capacidades de retenção do elemento é fundamental para a determinação das doses agronômicas adequadas de fertilizantes. Entre outros fatores, o nível crítico de P pode ser influenciado pelo fator capacidade do elemento e pelo extrator usado nesta avaliação. Carvalho et al. (1995) notaram que o nível crítico de P em solos do Cerrado adubados com superfosfato triplo e cultivados com feijão, apontou relação inversa com os teores de argila dos solos. Em experimento com amostras de quatro solos de várzea, Fernandes et al. (2000) obtiveram nível crítico de P na matéria seca da parte aérea de feijoeiro inversamente relacionado com o fator capacidade de fósforo, resultado semelhante ao obtido por Muniz et al. (1985) para soja cultivada em amostras de dez Latossolos. Bonfim et al. (2004) relataram que os níveis críticos de P nos solos e em plantas de *Brachiaria brizhanta* foram influenciados pelo fator capacidade de fósforo, obtendo-se menores valores nos solos com maior fator capacidade.

No presente estudo se objetivou avaliar a disponibilidade e os níveis críticos de fósforo para plantas de milho, por diferentes extratores químicos, em dois solos da Zona da Mata de Pernambuco com diferentes capacidades de adsorção de P, adubados com fosfato natural de Gafsa ou superfosfato triplo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de dois solos da Zona da Mata de Pernambuco foram coletadas na profundidade de 0-20 cm; os solos escolhidos foram um Argissolo Amarelo do município de Goiana, e um Latossolo Amarelo do município de Serinhaém. Os critérios adotados para esta escolha foram os baixos teores de fósforo disponível e as diferentes capacidades máximas de adsorção de fosfato (CMAF). As amostras de solo foram secas ao ar, destorroadas e peneiradas em malha de dois milímetros de abertura; após homogeneização, retiraram-se sub-amostras para caracterização química e física (Tabela 1).

Visando aproximar as condições do experimento àquelas praticadas pelos produtores da Zona da Mata de Pernambuco, o pH foi elevado para 6,5 em ambos os solos, por meio de doses de carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, na proporção molar de 4:1, determinadas previamente em ensaio de incubação. As doses de fósforo aplicadas para cada um dos solos foram definidas de acordo com o valor respectivo de P-remanescente (Alvarez V. et al., 2000). As doses aplicadas foram 0, 75, 150, 225 e 300 mg dm<sup>-3</sup> para o Argissolo e 0, 120, 240, 360 e 480 mg dm<sup>-3</sup> para o Latossolo, utilizando-se fontes comerciais de superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa, aplicadas em todo o volume de solo. Após aplicação

**Tabela 1.** Caracterização química e física das amostras dos solos utilizados no experimento

**Table 1.** Chemical and physical characterization of the soil samples used in the experiment

Atributos	Argissolo	Latossolo
pH (H <sub>2</sub> O) <sup>(1)</sup>	5,3	4,4
Ca <sup>++</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	5,0	1,2
Mg <sup>++</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	5,5	6,3
K <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,2	0,2
Na <sup>+</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,0	0,0
H <sup>+</sup> + Al <sup>+++</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	37,2	145,2
Al <sup>+++</sup> (mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	3,9	19,8
P disponível (mg dm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,12	4,08
P rem (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>(2)</sup>	47,01	12,82
CMAF (mg cm <sup>-3</sup> ) <sup>(3)</sup>	0,1034	0,9638
Energia de adsorção (mg L <sup>-1</sup> ) <sup>-1</sup> <sup>(4)</sup>	0,7252	0,5168
k-Freundlich <sup>(4)</sup>	0,0559	0,3592
Areia (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	880	480
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	30	40
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	90	480
Densidade global (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	1,47	1,15
Densidade de partículas (g cm <sup>-3</sup> ) <sup>(1)</sup>	2,71	2,66
Capacidade de campo (g g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,0511	0,2534
Ponto de murcha permanente (g g <sup>-1</sup> ) <sup>(1)</sup>	0,0390	0,1875
Porosidade (%) <sup>(1)</sup>	45,76	56,77

<sup>(1)</sup> EMBRAPA (1997), <sup>(2)</sup> Alvarez V. et al., (2000), <sup>(3)</sup> CMAF: Capacidade máxima de adsorção de fosfatos, <sup>(4)</sup> Alvarez V. (1987), <sup>(5)</sup> Constante de equilíbrio da isoterma de Freundlich (Novais & Smyth, 1999)

das doses de fósforo, as amostras foram incubadas por trinta dias (Gonçalves et al., 1989), com umidade de 80% da capacidade de campo; após a incubação, amostras de solo foram retiradas de cada parcela para a determinação do P disponível pelos extratores Mehlich-1 (EMBRAPA, 1997), Mehlich-3 (Mehlich, 1984) e Bray-1 (Council on Soil Plant Test Analysis, 1980).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação em vasos com capacidade para 3,5 dm<sup>3</sup> de solo, onde também foram cultivadas duas plantas de milho cultivar São José. Os vasos foram fertilizados com uma solução contendo todos os nutrientes, com exceção do fósforo, com base em Alvarez V. et al. (1974). A pesagem dos vasos serviu de referência para a irrigação diária com água destilada, pela qual a umidade era elevada a 80% da capacidade de campo.

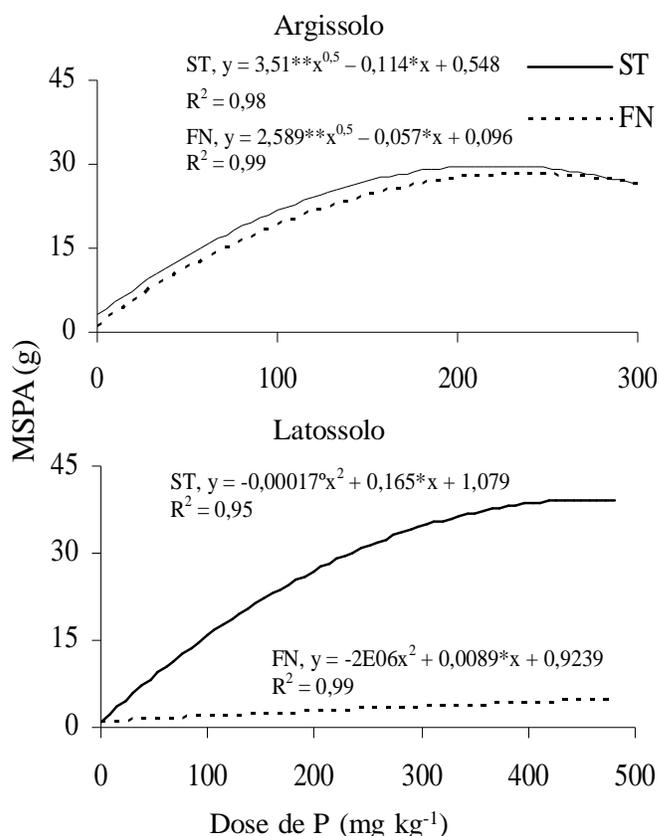
A parte aérea das plantas foi colhida quarenta dias após o semeio e secada em estufa, a 65 °C, durante 72 horas. A biomassa seca foi medida e o material moído para a realização da digestão nitro-perclórica e determinação dos teores de P nos extratos (Braga & Defelipo, 1974).

Determinaram-se os níveis críticos de P no solo e nas plantas por meio de equações de regressão, que estimaram 90% da máxima produção de matéria seca e o teor de P na parte aérea, além de teores de nutrientes recuperados por extratores químicos, em função das doses de P aplicadas. O experimento foi montado no delineamento blocos casualizados, esquema fatorial, com dois tipos de solo, dois fertilizantes fosfatados e cinco doses, com três repetições. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, teste F e análises de regressão e correlação.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Exceção feita ao fosfato natural aplicado no Latossolo, as doses de fertilizantes aumentaram, proporcional e significa-

tivamente, a produção de matéria seca das plantas nos dois solos estudados (Figura 1A e B). Devido à pobreza natural dos solos em P disponível, a primeira dose de fertilizante foi responsável por um forte incremento de biomassa, exceto no Latossolo fertilizado com fosfato natural de Gafsa.



**Figura 1.** Equações de regressão entre doses de duas fontes de fósforo (FN - fosfato natural e ST - superfosfato triplo) e produção de matéria seca de milho em dois solos

**Figure 1.** Regression equations between the two phosphorus sources (FN - natural phosphate and ST - triple superphosphate) and the production of dry matter of maize in the two soils

Os extratores diferiram significativamente nos teores médios de P, recuperados dos solos (Tabela 2). Em geral, os menores valores recuperados para ambas as fontes utilizadas, foram obtidos no Latossolo. Oliveira et al. (2000) também constataram relação inversa entre valores de P recuperado e fator capacidade. Segundo Novais et al. (1993) este comportamento se deve ao fato de que há maior exaustão dos extratores em solos com fator capacidade alto, o que poderia, inclusive, causar subestimação do teor de P disponível.

Confirmando os resultados de Brasil & Muraoka (1997) e Bonfim et al. (2004), o extrator Mehlich-3 pareceu ser o mais sensível às diferenças de fator capacidade de P entre os solos. Quando a comparação foi baseada nas fontes, Mehlich-1 e Mehlich-3 recuperaram quantidades estatisticamente iguais de P do superfosfato triplo, enquanto Bray-1 apresentou a maior recuperação de P desta fonte (Tabela 2); nos solos

**Tabela 2.** Valores de fósforo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) recuperados pelos extratores Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 em função de doses e fontes de fósforo em amostras de dois solos**Table 2.** Values of phosphorus ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) recovered by the extractants Mehlich-1, Mehlich-3 and Bray-1 as a function of phosphorus rates and sources in two soil samples

Dose ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Fonte de fósforo					
	Superfosfato triplo			Fosfato natural de Gafsa		
	Mehlich-1	Mehlich-3	Bray-1	Mehlich-1	Mehlich-3	Bray-1
<b>Argissolo</b>						
0	2,12	2,53	2,27	2,12	2,53	2,27
75	26,92	40,99	47,41	96,81	10,97	15,25
150	68,19	80,00	109,20	181,88	23,13	18,94
225	99,16	123,33	165,56	283,04	31,78	24,02
300	147,01	151,48	213,26	396,29	33,56	25,70
Média	68,68 Aa	79,67 Aa	107,54 Ab	192,03 Ba	20,40 Ab	17,24 Ab
<b>Latossolo</b>						
0	4,08	2,71	2,97	4,08	2,71	2,97
120	9,92	15,22	23,59	160,29	5,19	6,58
240	33,29	35,57	49,30	270,79	5,99	6,93
360	53,83	63,19	85,14	417,76	7,33	8,45
480	79,52	83,62	125,61	568,32	10,25	9,03
Média	36,13 Ba	40,06 Ba	57,32 Bb	284,25 Aa	6,30 Bb	6,79 Bb

Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas nas colunas e minúsculas nas linhas, não diferem entre si a 5% pelo teste F

adubados com fosfato natural, Bray-1 e Mehlich-3 se equivalem; Mehlich-1, por outro lado, solubilizou teores extremamente elevados do P presente no fosfato de Gafsa; neste aspecto, é interessante observar que o Mehlich-1 extraiu maiores quantidades de P que o máximo esperado, considerando-se as doses adicionadas de fosfato natural (Tabela 2) o que pode ser explicado pelo fato de que essas doses foram calculadas com base nos teores de P solúvel do fosfato de Gafsa, o que demonstra a demasiada solubilização de fosfatos de cálcio deste fertilizante pela acidez do Mehlich-1, caso em que, devido às elevadas doses de fosfato natural aplicadas neste experimento, o efeito do fator capacidade foi sobrepujado pela acidez do Mehlich-1, superestimando, sobremaneira, a disponibilidade de fósforo.

As correlações do P recuperado pelo Mehlich-1 com matéria seca, teor e conteúdo de P da parte aérea, foram significativas apenas quando a fonte utilizada foi superfosfato triplo (Tabela 3). Este extrator apresentou a mais alta correlação para estimativa do teor de P nesta condição. Eficiência seme-

lhante do Mehlich-1 na previsão da disponibilidade de P em solos adubados com fontes solúveis tem sido observada em outros trabalhos (Silva et al., 1999; Miola et al., 1999; Moreira & Malavolta, 2001); entretanto, quando utilizado para avaliação da resposta das plantas à aplicação de fosfato de Gafsa, este extrator não apresentou capacidade preditiva para nenhuma das características estudadas. Conforme comentado antes, a elevada acidez do Mehlich-1 solubilizou grande parte do P não disponível do fosfato natural superestimando, portanto, o teor de P disponível à cultura, cujo resultado é semelhante ao obtido por outros autores (Muzzili, 1982; Brasil & Muraoka, 1997) e corrobora a inconveniência do Mehlich-1 na estimativa do P disponível para solos que receberam fosfato natural (Raj, 1991; Novais & Smyth, 1999).

Os extratores Mehlich-3 e Bray-1 apresentaram eficiência ligeiramente inferior ao Mehlich-1 na predição dos teores de P das plantas nos solos que receberam superfosfato triplo (Tabela 3). Por outro lado, mostraram maior capacidade preditiva para produção de matéria seca, teor e conteúdo de P nas plantas quando a fonte utilizada foi o fosfato de Gafsa. Esta maior versatilidade desses extratores foi observada também por Brasil & Muraoka (1997) em cinco solos da Amazônia adubados com fosfatos solúveis e naturais. Quando as duas fontes são agrupadas para previsão da disponibilidade, os extratores Mehlich-3 e Bray-1 apresentam boa correlação, 0,92\*\* e 0,94\*\* respectivamente, com os teores de P na parte aérea das plantas, enquanto o Mehlich-1 não indica correlação para esta situação. Como o Mehlich-1 é o extrator de P disponível empregado em muitos estados do País, incluindo Pernambuco (Cavalcanti, 1998), deve-se ter em mente que seu uso indiscriminado em solos que receberam fosfato natural pode conduzir a resultados equivocados quanto à disponibilidade do elemento.

Os níveis críticos de P nos solos adubados com superfosfato triplo variaram entre os extratores, na seguinte ordem: Bray-1 > Mehlich-3 > Mehlich-1 (Tabela 4), ou seja, mesma seqüência encontrada para solos de Pernambuco adubados com fontes solúveis de P e cultivados com *Brachiaria bri-*

**Tabela 3.** Correlações lineares entre características da planta e valores de P recuperado por extratores para dois solos adubados com superfosfato triplo e fosfato natural de Gafsa**Table 3.** Linear correlations between plant characteristics and values of P recovered by extractants in two soils fertilized with triple superphosphate and Gafsa rock phosphate

	mSPA <sup>(1)</sup>	Teor P	CP <sup>(2)</sup>	Mehlich-1	Mehlich-3
<b>Superfosfato triplo</b>					
Teor P	0,50**	-	-	-	-
CP	0,68**	0,95**	-	-	-
Mehlich-1	0,53**	0,84**	0,81**	-	-
Mehlich-3	0,53**	0,74**	0,70**	0,97**	-
Bray-1	0,73**	0,74**	0,83**	0,88**	0,84**
<b>Fosfato natural</b>					
Teor P	0,57**	-	-	-	-
CP	0,85**	0,86**	-	-	-
Mehlich-1	0,17 <sup>n.s.</sup>	0,24 <sup>n.s.</sup>	0,22 <sup>n.s.</sup>	-	-
Mehlich-3	0,90**	0,67**	0,90**	0,37*	-
Bray-1	0,95**	0,63**	0,87**	0,34 <sup>n.s.</sup>	0,95**

\*\*, significativo a 1 e 5 %, respectivamente. <sup>n.s.</sup> não significativo. <sup>(1)</sup>matéria seca da parte aérea, <sup>(2)</sup> conteúdo de P

**Tabela 4.** Níveis críticos de P no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) por diferentes extratores e doses de P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) para obtenção de 90% da máxima produção de matéria seca de milho, ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) e respectivos níveis críticos de P na planta ( $\text{mg g}^{-1}$ ) em dois solos submetidos a duas fontes de fósforo

**Table 4.** Critical levels of P in the soil ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) by different extractants and rates of P ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) to obtain 90% of the maximum maize dry matter production, ( $\text{g vase}^{-1}$ ) and respective critical levels of P in the plant ( $\text{mg g}^{-1}$ ) in two soils submitted to two phosphorus sources

	Fonte de fósforo			
	Superfosfato triplo		Fosfato natural	
	Argissolo	Latossolo	Argissolo	Latossolo
Mehlich-1	49,27	50,78	309,72	1705,77
Mehlich-3	59,28	55,84	30,41	23,88
Bray-1	78,58	80,41	23,96	21,20
Dose	109,79	330,29	240,57	1470,75
Matéria seca	24,81	37,00	26,54	9,54
Nível crítico	2,33	1,83	1,39	*

\*Não houve ajuste de equação

zhanta (Bonfim et al., 2004). É provável que, como sugerido por esses autores, solos da Zona da Mata de Pernambuco tenham pouco P-Ca, principal fração acessada pelo Mehlich-1 (Novais & Smyth, 1999). Os níveis críticos nos solos que receberam fosfato de Gafsa foram semelhantes quando determinados por Mehlich-3 e Bray-1 e muito altos quando obtidos pelo Mehlich-1 (Tabela 4); evidentemente, a alta capacidade de solubilização de P dessa fonte por este extrator, discutida anteriormente, é a responsável por este resultado.

O menor valor de nível crítico de P na matéria seca da parte aérea (Tabela 4) obtido no Latossolo com a fonte superfosfato triplo, corrobora com o menor acúmulo de P na planta em solos de alto fator capacidade de P observados em outros trabalhos (Muniz et al., 1985; Fabres et al. 1987; Fernandes et al., 2000). A dose de superfosfato triplo, recomendada para 90% da produção máxima no Latossolo, devido à sua maior adsorção de P é aproximadamente triplo daquela recomendada para o Argissolo (Tabela 4). Em decorrência da menor eficiência apresentada neste trabalho, a dose de fosfato de Gafsa para o Argissolo foi o dobro da dose de supertriplo recomendada para obtenção de produção similar de matéria seca, neste solo (Tabela 4). Como visto na Figura 1B, a resposta do milho a doses de fosfato de Gafsa no Latossolo foi muito baixa, resultando em uma dose de fertilizante extremamente alta para obtenção de 90% da produção máxima de matéria seca (Tabela 4).

Um fator a ser considerado nesses resultados, é o fato do Latossolo ter recebido uma dose maior de calagem para correção do pH que aquela aplicada ao Argissolo; como o pH dos solos após a correção foi muito semelhante, os maiores teores de  $\text{Ca}^{+2}$  no Latossolo, decorrentes da aplicação de calcário, podem ter contribuído para a menor eficiência do fosfato de Gafsa devido à menor solubilização de fosfato de cálcio nesta condição (Choudhary et al., 1994; Novais & Smyth, 1999); no entanto, os menores valores de P recuperados pelos extratores Mehlich-3 e Bray-1 no Latossolo (Tabela 2) comprovam que o fator capacidade desempenhou, pro-

vavelmente, o mais decisivo papel nas diferenças em disponibilidade de P entre os dois solos.

Os resultados deste trabalho demonstram que, em geral, o fosfato natural de Gafsa, embora possa apresentar maior efeito residual que as fontes mais solúveis (Goedert, 1983), foi menos eficiente que o superfosfato triplo no aumento de produção de matéria seca e no fornecimento de P para plantas de milho, porém, para solos de menor adsorção de P, como o Argissolo utilizado neste trabalho, ou em maiores tempos de contato solo-fertilizante, este fosfato pode ser uma boa alternativa em decorrência das respostas similares em produção de matéria seca (Figura 1A). As maiores doses necessárias para a máxima produção (Tabela 4) poderiam ser compensadas pelo menor preço, maior efeito residual e pela mistura do fosfato de Gafsa com fontes solúveis para aplicação no primeiro ano de cultivo.

As características dos solos e as doses de P aplicadas exercem influência sobre a distribuição das frações fosfatadas. Segundo Fabres et al. (1987) as concentrações críticas de fósforo inorgânico e, conseqüentemente, de fósforo total solúvel, foram variáveis entre solos, enquanto as de fósforo orgânico pouco variaram, indicando a influência de características do solo sobre o acúmulo de fósforo inorgânico na parte aérea da planta; assim, o aumento do fornecimento de P contribui para o acúmulo de fósforo inorgânico e, em contrapartida, diminui a eficiência de utilização de fósforo; este fato é mais pronunciado em solos de baixo fator capacidade de P que, por adsorverem menores quantidades de P, mantêm maior concentração de P disponível às plantas; de modo contrário, uma disponibilidade de P (maior fator capacidade) pela maior adsorção de P pelo solo, leva a maior eficiência de utilização de P para produção de matéria seca.

Comparando os dois solos, observou-se que no Latossolo o coeficiente de utilização de P foi o maior independente da fonte de P (Tabela 5). Conforme discutido, este solo tem maior fator capacidade de P e proporciona menor disponibilidade de fósforo.

**Tabela 5.** Coeficiente de utilização\* de fósforo ( $\text{g kg}^{-1}$ ) na matéria seca da parte aérea de milho em função das doses e fontes de fósforo em amostras de dois solos com diferentes valores de fator capacidade de fósforo

**Table 5.** Phosphorus use coefficient\* ( $\text{g kg}^{-1}$ ) in the maize shoot dry matter as a function of the rates and sources of phosphorus in samples of two soils with different values of phosphorus factor capacity

Solo	Dose ( $\text{mg dm}^{-3}$ )	Fonte	
		Superfosfato triplo	Fosfato natural
		Coeficiente de utilização de fósforo	
Argissolo	0	1,63	1,63
	75	0,70	0,89
	150	0,30	0,98
	225	0,25	0,90
	300	0,18	0,62
	Média	0,61 Bb	1,00 Ba
Latossolo	0	2,31	2,31
	120	1,03	1,12
	240	0,96	1,33
	360	0,62	1,02
	480	0,33	1,95
	Média	1,05 Ab	1,55 Aa

\* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula para a mesma fonte variando o solo e minúsculas para o mesmo solo variando a fonte, não diferem entre si a 1% pelo teste F

A comparação entre as fontes mostra que o fosfato natural proporcionou maior coeficiente de utilização de fósforo (Tabela 5); neste caso, a menor disponibilidade de P não foi governada pelo fator capacidade, que foi o mesmo para as duas fontes, mas foi função da menor solubilidade do fosfato natural de Gafsa.

## CONCLUSÕES

Os três extratores utilizados são igualmente eficientes na avaliação da disponibilidade de fósforo em solos adubados com superfosfato triplo. Para a fonte fosfato de Gafsa, o Mehlich-1 superestima os teores de P disponível, enquanto os extratores Mehlich-3 e Bray-1 se mostram adequados para esta avaliação.

Os maiores valores de nível crítico no solo, com exceção do Mehlich-1, são obtidos nos solos adubados com superfosfato triplo.

O nível crítico de fósforo na matéria seca da parte aérea de milho é inversamente correlacionado com o fator capacidade de fósforo dos solos e diretamente correlacionado com a solubilidade da fonte de fósforo. A dose necessária para se atingir esse nível crítico é diretamente correlacionada com o fator capacidade de fósforo dos solos e inversamente correlacionada com a solubilidade da fonte de fósforo.

O superfosfato triplo apresenta eficiência superior à do fosfato de Gafsa na produção de matéria seca no Latossolo. O fosfato de Gafsa no Argissolo apresenta eficiência similar na produção de matéria seca, o que o torna uma boa alternativa à aplicação de fertilizantes de custo mais elevado.

O fosfato natural de Gafsa proporcionou os maiores coeficientes de utilização de fósforo independentemente do tipo de solo; para a mesma fonte, o Latossolo proporcionou os maiores coeficientes de utilização.

## LITERATURA CITADA

- Alvarez V., V.H. Equilíbrio de formas disponíveis de fósforo e enxofre em dois Latossolos de Minas Gerais. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1974. 125p. Dissertação de Mestrado.
- Alvarez V., V. H.; Capacidade máxima de adsorção de fosfatos: práticas de avaliação da fertilidade do solo. 1.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 11p.
- Alvarez V., V. H.; Novais, R. F.; Dias, L. E.; Oliveira, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.1, p.27-32. 2000.
- Bonfim, E. M. S.; Freire, F. J.; Santos, M. V. F.; Silva, T. J. A.; Freire, M. B. G. S. Níveis críticos de fósforo para *Bracharia brizantha* e suas relações com características físicas e químicas em solos de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.28, p.281-288, 2004.
- Braga, J. M.; Defelipo, B.V. Determinação estectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. Revista Ceres, v.21, p.73-85, 1974.
- Brasil, E. C.; Muraoka, T. Extratores de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.21, p.599-606, 1997.
- Carvalho, A. M. de; Fageria, N. K.; Kinjo, T.; Pereira, I.P. de. Resposta do feijoeiro à aplicação de fósforo em solos dos Cerrados. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.19, p. 61-67, 1995.
- Cavalcanti, F. J. A. (coord.) Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco (2º aproximação), Recife: IPA, 1998. 198p.
- Choudhary, M.; Peck, T. R.; Paul, L. E.; Bailey, L. D. Long-term comparison of rock phosphate to superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. Canadian Journal of Soil Science. v. 74, p.303-310, 1994.
- CSPTA - Council on Soil Plant Test Analysis. Handbook on reference methods for soil testing. Athens, 1980. n.p.
- Coutinho, E. L. M.; Natale, W.; Nova, A. S. V.; Sitta, D. S. X. Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.26, p.1393-1399, 1991.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 1997. 212p.
- Fabres, A. S.; Novais, R. F.; Neves, J. C. L.; Barros, N. F.; Cordeiro, A. T. Níveis críticos de diferentes frações de fósforo em plantas de alface cultivadas em diferentes solos. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.11, p.51-57, 1987.
- Fernandes, L. A.; Faquin, V.; Furtini Neto, A. E.; Curi, N. Frações de fósforo e atividade da fosfatase ácida em plantas de feijoeiro cultivadas em solos de várzea. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.24, p.561-571, 2000.
- Goedert, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.18, p.499-506, 1983.
- Gonçalves, J. L. M.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Neves, J. C. L.; Ribeiro, A.C. Cinética de transformação de fósforo-lábil em não-lábil, em solos de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.13-24, 1989.
- Holford, I.C.R.; Mattingly, G.E.G. Effects of Phosphate buffering on the extration of labile phosphate by plants and by soil tests. Australian Journal of Soil Research, v.17, p.511-514, 1979.
- Kaminski, J.; Peruzzo, G. Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. 31p. (Boletim técnico).
- Lopes, A.S. Solos sob Cerrado: características, propriedades e manejo. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1984. 162p.
- Mehlich, A. Mehlich-3 soil test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v.15, p.1409-1416, 1984.
- Miolo, G. R.; Tedesco, M. J.; Bissani, C. A.; Gianello, C.; Camargo, F.A. de O. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo para a cultura do milho. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.34, p.813-819, 1999.
- Moreira, A.; Malavolta, E. Fontes, doses e extratores de fósforo em alfafa e centrosema. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.36, p.1519-1527, 2001.

- Motomiya, W. R.; Fabrício, A. C.; Marchetti, M. E.; Gonçalves, M. C.; Robaina, A. D.; Novelino, J. O. Métodos de aplicação de fosfato na soja em plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.307-312, 2004.
- Muniz, A. S.; Novais, R. F.; Barros, N. F.; Neves, J. C. L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.237-243, 1985.
- Muzzili, O. Adubação fosfatada no estado do Paraná. In: Oliveira, A.; Lourenço, S.; Goedert, W. J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília: Embrapa-DID, 1982. p.61-101.
- Novais, R. F., Neves, J. C. L.; Barros, N. F.; Casali, V. W. D.; Fabres, A.S. The influence of the soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. *Optimization of Plant Nutrition*, p.73-76, 1993.
- Novais, R. F.; Smyth, T. J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. 1.ed. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.
- Oliveira, F. H. T.; Novais, R. F.; Smyth, T. J.; Neves, J. C. L. Comparisons of phosphorus availability between anion exchange resin and mehlich-1 extractions among oxisols with different capacity factors. *Communications in Soil Science and Plant analysis*, v.31, p.615-630, 2000.
- Raij, B. van. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Agronômica Ceres/Potafos, 1991. 343p.
- Raij, B. van; Cabala-Rosand, P.; Lobato, E. Adubação fosfatada no Brasil – apreciação geral, conclusões e recomendações. In: Oliveira, A.; Lourenço, S.; Goedert, W. J. Adubação fosfatada no Brasil. Brasília: Embrapa-DID, 1982. p.9-28.
- Rajan, S. S. S.; Watkinson, J. H.; Sinclair, A. G. Phosphate rocks for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, v. 57, p.77-159, 1996.
- Silva, W. M.; Fabrício, A. C.; Marchetti, M. E.; Kurihara, C. H.; Maeda, S.; Hernani, L. C. Eficiência de extratores de fósforo em dois latossolos do Mato Grosso do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.34, p.2277-2285, 1999.