

# ABSORÇÃO DE FÓSFORO E CRESCIMENTO DO SORGO EM FUNÇÃO DA APLICAÇÃO DE SILÍCIO E FÓSFORO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO

## PHOSPHORUS ABSORPTION AND SORGHUM GROWTH IN FUNCTION OF THE SILICON AND PHOSFORUS APLICATIONS IN A RHODIC FERRASOL

Raphael Maia Aveiro Cessa<sup>1</sup>, José Oscar Novelino<sup>2</sup>, Antonio Carlos Tadeu Vitorino<sup>2</sup> e Munir Mauad<sup>2</sup>

### RESUMO

Este estudo foi realizado em casa de vegetação com o objetivo de avaliar o crescimento e absorção de fósforo (P) pelo sorgo, em função da aplicação de doses de silício (Si) e fósforo (P), aplicadas em um Latossolo Vermelho Distroférico argiloso. A fonte de Si foi incubada à amostras do solo com antecedência de 30 dias da aplicação do P. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, contendo quatro repetições, em esquema fatorial 5x5, cujos tratamentos foram compostos por cinco doses de Si (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) e cinco de P (0, 160, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup>). O aproveitamento de P em solução para o sorgo, em função da pré-aplicação de Si objetivando-se bloquear os sítios de cargas adsorptivos foi pouco expressivo. As características da planta de sorgo como massa seca da parte aérea, diâmetro de colmo e estatura foram significativamente influenciadas somente pelo P aplicado ao

solo. Contudo, a pré-aplicação de Si aumentou a absorção do P pelo sorgo e influenciou positivamente a taxa de recuperação de P aplicado, a qual foi mais bem detectada pelo extrator Olsen.

**Palavras-chave:** Fertilização com Si e P, recuperação de P, *Sorghum bicolor* L.

### ABSTRACT

This study was realized in greenhouse with the subjective of to evaluate the growth and P absorption by sorghum in function of the levels of silicon (Si) and of phosphorus (P), in an Rhodic Ferrasol representative of Mato Grosso do Sul Estate – Brazil. The experimental design was random blocks, with four repetitions, in a factorial scheme 5x5, whose treatment was composed by five levels of Si (0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup>) and of P (0, 160, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup>). The exploitation of P for the sorghum in function of pre-applications of silicon, objetiving to block the adsorptive charge, was little expressive. The characteristics of the plant as dry matter from the shoot, diameter of stem and plant stature, was significantly influenced only by P applitions in soil. However, the Si application increased lineary the absorption of the P by sorghum and influenced positively the recovery rate of P applied Si, which was better detected by Olsen extractant.

**Keywords:** Recovery P, Si and P fertilization, *Sorghum bicolor* L.

<sup>1</sup> Professor Dr. Centro Universitário da Grane Dourados (UNIGRAN) Rua Balbina de Matos, 2121 – Jd. Universitário CEP 79.824-900 – Dourados/MS

<sup>2</sup> Universidade Federal da Grande Dourados – Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados – Ithau, km 12, Caixa Postal, 533, CEP 79804 Dourados/MS  
josenovelino@ufgd.edu.br;  
antoniovitorino@ufgd.edu.br;  
munirmauad@ufgd.edu.br

## INTRODUÇÃO

O Cerrado encontra-se totalmente na região tropical e representa, hoje, não somente para o Brasil, mas para o mundo, uma das últimas alternativas viáveis e com alto potencial de produção agrícola. Entretanto, sua utilização para este fim requer uma série de precauções e medidas que visem o seu desenvolvimento sustentável, sem esgotamento dos recursos naturais, tão abundantes desta região. O cerrado possui um grande potencial de crescimento, além da imensa base de recursos naturais, pelo contínuo progresso tecnológico. Apesar desse potencial, a sustentabilidade do crescimento está ameaçada pela desmobilização do sistema de pesquisas, interrupção de projetos e por fatores que dificultam a difusão das inovações. Todos esses problemas reduzem a competitividade da agricultura, expondo-a ao risco da insustentabilidade. A agricultura nos cerrados somente será sustentável se for capaz de competir com as outras regiões e mesmo com a de outros países. Atualmente é evidente que o cerrado possui vantagens comparativas na produção agrícola, quando comparado a outras regiões (Marouelli, 2003).

Nesse bioma característico, a adubação fosfatada tem sido um fator impactante no processo produtivo. Isso se dá em função do seu custo elevado da adubação fosfatada e da relativa eficiência dada pela fixação do fosfato pela fração coloidal de grande parte de seus solos, especialmente aqueles em avançado estágio de evolução pedogenética.

Em solos tropicais intemperizados com mineralogia oxidica contendo hematita, goethita, caulinita e gibbsita, o fósforo (P) encontra-se entre os nutrientes com maior capacidade de limitar a produtividade agrícola, devido à formação de compostos de alta energia de ligação com os colóides do solo, conferindo-lhe alta estabilidade na fase sólida (Fernandes *et al.*, 2004).

Estudos relativos à competição pelos sítios adsorptivos dos colóides do solo, entre ânions

com íons de fosfato na solução do solo, podem colaborar para minimização do problema de adsorção de P (Andrade *et al.*, 2003). Fosfato e silicato competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção, de maneira que o segundo pode deslocar (dessorver) o primeiro, e vice-versa, da fase sólida para a líquida (Leite, 1997).

Resultados encontrados por Leite (1997), em amostras de Latossolo Vermelho Aluminoférrico argiloso e muito intemperizado, revelaram que a pré-aplicação de Si seguida da aplicação de P foi condizente com a hipótese de ocupação do Si pelos sítios adsorptivos, diminuindo a adsorção do P no solo. Houve aumento nos teores de P com a crescente adição de Si e P, implicando que tão importante quanto a ordem de aplicação dos elementos são suas concentrações na solução do solo. Ma e Takahashi (1990) constaram que a adsorção do P não diminuiu com prévia adição de ácido silícico ao solo, mas foi influenciada por suas concentrações.

Nos estudos que relacionam a absorção de P pelas plantas faz-se necessário a escolha adequada de extratores, sendo que a confiabilidade desses extratores e sua utilização baseiam-se nas quantidades extraídas do elemento e sua correlação com a absorção pela planta, (Stefanutti *et al.*, 1994).

Dentre os extratores de P no solo o Mehlich 1 é bastante difundido nos laboratórios brasileiros, sendo indicado para solos com baixa capacidade de troca catiônica, alto grau de intemperismo e baixos teores de fosfato ligado a cálcio (Thomas e Peaslee, 1973). O extrator Olsen é recomendado para solubilização das formas de P ligado a cálcio (P-Ca), precipitando cálcio na forma de carbonato. Esse extrator também extrai formas de P ligada ao Al por precipitação, mas não ataca o P ligado a Fe e a Al sob forma oclusa (Braga *et al.*, 1980).

O objetivo deste trabalho foi avaliar os componentes do crescimento de plantas de sorgo e o teor de P na parte aérea e no solo em Latossolo Vermelho Distroférrico, fertilizado com Si antecipadamente ao P.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados – MS, no ano de 2004 em um Latossolo Vermelho Distroférico (Rhodic Ferrasol/FAO) muito argiloso coletado na profundidade de 0 – 30cm, com as seguintes características químicas:  $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)} = 4,0$ ;  $\text{M.O} = 22,8 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $\text{P-resina} = 3 \text{ mg dm}^{-3}$ ;  $\text{K}^+ = 1,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Ca}^{++} = 17,9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Mg}^{++} = 7,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{H+Al} = 89 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{CTC} = 116,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ ;  $\text{Si}_{(\text{CaCl}_2)} = 19,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . A análise granulométrica do solo apresentou valores de 760, 91 e 149  $\text{g kg}^{-1}$  de argila, limo e areia respectivamente. A densidade do solo e a densidade de partículas foram de 1,22 e 2,08  $\text{cm}^3 \text{ dm}^{-3}$ .

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em esquema fatorial 5 x 5, constituído por cinco doses de Si (0; 100; 200; 300 e 400  $\text{mg dm}^{-3}$ ) e cinco doses de P (0; 140; 280; 420 e 560  $\text{mg dm}^{-3}$ ) e quatro repetições, totalizando 100 unidades experimentais. A fonte de Si foi o  $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  e, de P, os fosfatos de Na, K e  $\text{NH}_4$ , reagentes analíticos.

A correção da acidez das amostras do solo foi realizada com base nos resultados de curva de incubação do corretivo em sacos plásticos contendo 2000 g de solo, com uma mistura de carbonato de cálcio e magnésio na relação estequiométrica Ca:Mg de 4:1. As amostras de solo foram incubadas durante 21 dias com teor de umidade mantido próximo a 60% do volume total de poros, por meio de reposições semanais com água destilada.

Após incubação do corretivo, o solo de cada unidade experimental foi seco ao ar, passado em peneira com abertura de 2 mm e homogeneizado. Em seguida, o solo de cada unidade experimental recebeu 50 mL de uma solução contendo Si com suas respectivas doses seguido de homogeneização e nova incubação durante período de 21 dias, com teor de umidade mantido próximo a 60% do volume total de poros.

Ao final do período de incubação com Si, o solo de cada unidade experimental foi seco ao ar, passado através de peneira de malha 2 mm e homogeneizado. Em seguida o solo de cada unidade experimental recebeu as respectivas doses de P, estimadas a partir do P remanescente (Alvarez *et al.*, 2000). A adubação de plantio foi realizada segundo metodologia proposta por Novais *et al.* (1991).

Doze sementes de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cultivar BR – 304 foram semeadas na profundidade de dois centímetros, deixando-se oito plantas por vaso após desbaste. No 23º dia após semeadura efetuou-se uma adubação de cobertura com 25  $\text{mg dm}^{-3}$  de N. O teor de umidade nos vasos foi mantido próximo a 60% do volume total de poros do solo.

Aos 35 dias após a emergência foram avaliadas a massa seca da parte aérea, o diâmetro de colmo e a estatura das plantas. O conteúdo de P acumulado na massa seca da parte aérea foi avaliado segundo procedimentos descritos em Malavolta *et al.* (1997). No solo, após o cultivo do sorgo, foram avaliados os conteúdos de P recuperados pelos extratores Mehlich 1 (Embrapa, 1997), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e Olsen (Olsen e Sommers, 1982) e determinados segundo Braga e Defelipo (1974).

Os resultados foram submetidos à análise de variância. As doses de fósforo e silício foram avaliadas por meio de análise de regressão usando o aplicativo computacional SAEG.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo resumo da análise de variância (Quadro 1), detectou-se efeito significativo da interação doses de Si x P para os extratores Mehlich-1, Mehlich-3. As demais variáveis foram influenciadas pelos fatores doses de Si e P, porém de forma isolada.

Não houve efeito de doses de silício para os componentes do crescimento (matéria seca da parte aérea, diâmetro do colmo e estatura de planta). O efeito do silício em

condições de estresse biótico e abiótico é bem conhecido na literatura (Ma, 2004), mas pouco se sabe a respeito da participação deste elemento nos processos de crescimento como a multiplicação celular. Ausência de reposta à adubação com silício na produção de matéria seca de plantas foi observada por Leite (1997) com a cultura do sorgo, Tokura *et al.* (2007) com a cultura do arroz, e Oliveira (2009) com as culturas da soja e feijão.

A máxima produção de matéria seca foi obtida na doses foi de 3,41 g vaso<sup>-1</sup>, alcançada com a dose de 298,94 mg dm<sup>-3</sup> de P (Quadro2). Esse resultado corrobora com o obtido por Leite (1997) com a cultura do sorgo em Latossolo Vermelho Aluminoférrico e com os dados apresentados por Tokura *et al.* (2007) com a cultura do arroz de terras altas em Latossolo Vermelho Distroférrico. Os estudos desses autores foram realizados em condições de casa-de-vegetação, utilizando doses de Si e P, onde se constatou efeito das doses de P aplicadas ao solo sobre a produção de massa seca.

O diâmetro máximo de colmo (3,65 mm) e a estatura máxima da plantas (68,9 cm) estimado pelo modelo matemático, foram atingidos com a aplicação de 539,1 e 226,9 mg dm<sup>-3</sup> de P, respectivamente (Quadro 2). O fósforo desempenha papel importante no crescimento de gramíneas (Santos *et al.*, 2002), pois é componente integrante de compostos importantes das células vegetais,

incluindo intermediários da respiração e fotossíntese, bem como nucleotídeos utilizados no metabolismo energético das plantas (Taiz e Zeiger, 2004)

O teor de P na massa seca da parte aérea do sorgo sofreu efeito significativo e isolado para aplicação de Si e P no solo (Quadro 1). De acordo com o modelo matemático apresentado na Quadro 3, para cada unidade de P que se pretende elevar na massa seca da parte aérea, foi necessário a aplicação de 10,30 mg dm<sup>-3</sup> de P e 11,80 mg dm<sup>-3</sup> de Si ao solo, sendo o teor máximo calculado de P na parte aérea de 54,38 para a máxima dose de P aplicada (560 mg dm<sup>-3</sup>) e 33,88 g kg<sup>-1</sup> na maior dose de Si aplicada (400 mg dm<sup>-3</sup>).

Segundo Prado e Fernandes (2001), o silício ocupa os sítios de adsorção de P e, com isso, aumenta a disponibilidade de P na solução do solo. No presente estudo, embora o Si tenha promovido obstrução de sítios de adsorção, favorecendo o aumento dos valores de P na matéria seca, esse efeito foi menos expressivo que aquele proporcionado pela adição de P.

O solo do presente estudo (Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso) apresenta a caulinita como filossilicato predominante na sua fração argila (Ker, 1995), sendo este mineral da fração argila o responsável por controlar o teor de Si na solução do solo. Assim sendo, a característica caulínica desse solo mantém elevado teor de Si em solução,

**Quadro 1** - Resumo da análise de variância (coeficiente de variação, quadrados médios e significância) da produção de matéria seca da parte aérea, estatura de plantas, diâmetro de colmo, teor fósforo na parte aérea, fósforo extraído do solo por Mehlich 1, Mehlich 3 e Olsen em função da aplicação de P e Si no solo.

Variáveis	CV (%)	Quadrado médio das fontes de variação		
		Si	P	Si x P
Matéria seca da parte aérea	21,18	0,26 <sup>ns</sup>	26,01**	0,22 <sup>ns</sup>
Diâmetro de colmo	9,63	0,04 <sup>ns</sup>	7,88**	0,05 <sup>ns</sup>
Estatura de planta	7,10	41,23 <sup>ns</sup>	2.700,30**	19,39 <sup>ns</sup>
Teor de P na parte aérea	26,43	0,95**	23,51**	0,28 <sup>ns</sup>
P – Mehlich-1	5,07	61,68**	16.971,24**	17,62**
P – Mehlich-3	8,95	46,44**	7.076,52**	19,67**
P - Olsen	13,13	164,51*	27.999,06**	9,90 <sup>ns</sup>

\*, \*\* - respectivamente significativo a 5% e 1% de probabilidade, pelo teste F.

<sup>ns</sup> - não significativo pelo teste de F.

**Quadro 2** - Modelos de regressão linear para as características agrônômicas da planta de sorgo em função da aplicação de 0, 140, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo (P) no solo.

Característica/unidade	Equação	R <sup>2</sup>
Massa seca parte aérea (g vaso <sup>-1</sup> )	0,70035+(0,31364**x√P)+(-0,00907**xP)	0,99
Diâmetro de colmo (mm)	1,97426+(0,14395**x√P)+(-0,00310**xP)	0,99
Estatura de planta	41,54568+(3,75072**x√P)+(- 0,12450**xP)	0,98

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Quadro 3** - Modelos de regressão linear para a característica fósforo (P) na massa seca da parte aérea em função da aplicação de 0, 140, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup> de (P) ou 0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de silício (Si) no solo.

Característica/unidade	Equação	R <sup>2</sup>
P massa seca parte aérea em função P aplicado no solo (g kg <sup>-1</sup> )	4,43000+(0,08919xP)	0,98
P massa seca parte aérea em função Si aplicado no solo (g kg <sup>-1</sup> )	24,924+(0,02239xSi)	0,87

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

que pode diminuir a adsorção de P no solo, devido à competição por sítios de adsorção, presente em outros componentes da fração argila, o que pode ter contribuído para menor resposta da aplicação de Si em relação a P sobre o teor de fósforo na parte aérea.

Carvalho *et al.* (2000), estudando a dessorção de fósforo por silício em Latossol Vermelho-Escuro e Camissolo, cultivado com eucalipto, observaram que a ação do silício na dessorção de fósforo foi mais evidente no solo menos intemperizado, com maior teor de caulinita (Cambissolo), do que no solo mais intemperizado, com maior teor de gibb-sita (Latosso), corroborando com os resultados deste estudo.

Houve interação significativa para aplicação de Si e P no solo para as características P extraído no solo por Mehlich 1 e Mehlich 3. Para o extrator de P no solo Olsen (P-Olsen) constatou-se efeito significativo isolado da aplicação de Si e P no solo (Quadro 1).

Os teores de P extraídos por Mehlich 1 e Mehlich 3 em função da aplicação de P foram negativamente influenciados pela aplicação prévia do Si (Quadro 4). Apenas quan-

do não se aplicou P é que houve aumento desse elemento com a aplicação prévia de Si. Uma provável justificativa para estes resultados pode estar relacionada com a exaustão do extrator, definida por Holford (1980), como o consumo excessivo de íons H<sup>+</sup> da mistura ácida. O consumo de prótons pode ter ocorrido devido ao aumento do pH do solo proporcionado pela aplicação de Si, e influenciado no desempenho do extrator.

Equações de regressão ajustadas para P-Olsen como variável dependente da aplicação de Si ou P, no conjunto das observações, podem ser visualizadas no Quadro 5. A aplicação de uma unidade de P ao solo proporcionou aumentos de 0,17 mg dm<sup>-3</sup> de P extraído pelo extrator Olsen. Esse valor foi 9,5 vezes maior quando comparado à aplicação ao solo de uma unidade de Si, indicando a baixa eficiência em pré-aplicação desse elemento, nessas condições experimentais, na disponibilização de P para a solução do solo. Provavelmente, o P aplicado no solo posteriormente ao Si foi capaz de deslocar parte desse último elemento para a solução do solo.

**Quadro 4** - Modelos de regressão linear para a característica fósforo (P) extraído no solo em função da aplicação de 0, 140, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup> de (P) e 0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de silício (Si) no solo.

Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
P-Mehlich1 (mg dm <sup>-3</sup> )	$0,99873+(0,377088^{**}x\sqrt{Si})+(-1,95310^{**}x\sqrt{P})+(-0,01603^{**}xSi)+(0,21505^{**}xP)+(-0,01679^{**}x\sqrt{SixP})$	0,95
P-Mehlich 3 (mg dm <sup>-3</sup> )	$3,98136+(0,23440^{**}x\sqrt{Si})+(-1,46376^{**}x\sqrt{P})+(0,14784^{**}xP)+(-0,01421^{**}x\sqrt{SixP})$	0,93

P-Mehlich1: P extraídos por Mehlich 1 em função da aplicação de P e Si no solo.

P-Mehlich3: P extraídos por Mehlich 3 em função da aplicação de P e Si no solo.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

**Quadro 5** - Modelos de regressão linear para a característica fósforo (P) extraído no solo em função da aplicação de 0, 140, 280, 420 e 560 mg dm<sup>-3</sup> de (P) ou 0, 100, 200, 300 e 400 mg dm<sup>-3</sup> de silício (Si) no solo.

Extrator	Equação	R <sup>2</sup>
P-Olsen <sup>1</sup> em função de P aplicado no solo (mg dm <sup>-3</sup> )	$3,606+(0,16773xP)$	0,99
P-Olsen <sup>2</sup> em função de Si aplicado no solo (mg dm <sup>-3</sup> )	$47,046+(0,0176xSi)$	0,94

<sup>1</sup>P-Olsen. P extraído por Olsen em função de P aplicado no solo.

<sup>2</sup>P-Olsen. P extraído por Olsen em função de Si aplicado no solo.

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

Ao comparar a aplicação de 140 mg dm<sup>-3</sup> de Si ao solo (correspondente à aplicação de 2000 kg de uma fonte solúvel com 30% de SiO<sub>2</sub>) com a não aplicação desse elemento, nota-se um incremento de P-Olsen da ordem de 2,46 mg dm<sup>-3</sup> de P; valor este correspondente à aplicação de 11,3 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, estimado pelo modelo matemático (Quadro 5).

As taxas de recuperação de P no solo pelos extratores, por unidade de P aplicado, tendo como referência a aplicação de 298,94 mg dm<sup>-3</sup> de P (dose estimada para a produção máxima de massa seca da parte aérea) e a não aplicação, foram 17,47, 10,22 e 6,32 % para Olsen, Mehlich 1 e Mehlich 3, respectivamente. Silva e Raij (1999), em uma revisão sobre extratores químicos de P no solo, menciona que o Olsen destaca-se pela sua superioridade e versatilidade em diferentes condições de solos, relativamente aos extratores ácidos, pela sua ação em dissolver as formas de P ligadas a alumínio as quais ocorrem quando se aplica fosfatos em solos ácidos.

No presente estudo, o extrator Mehlich 1 recuperou mais o P aplicado ao solo em comparação ao Mehlich 3, solubilizando compostos de P-Ca (Bonfim *et al.*, 2003). Tais compostos foram formados devido às operações de correção da acidez e incubação das doses de P na amostra de solo.

Os coeficientes de correlação entre os teores de P no solo extraído por Olsen (r = 0,94), Mehlich 1 (0,89) e Mehlich 3 (0,88) e P na parte aérea, significativos a 1% pelo teste de t, sugerem melhor habilidade do extrator Olsen, corroborando com Cabala e Santana (1983) e Neves (2003), sendo esse extrator melhor na detecção da ação do Si em ocupar sítio de adsorção de P, disponibilizando-o para as plantas. Bonfim *et al.* (2003) também observaram valores de coeficiente de correlação próximos (0,80 e 0,83) para Mehlich 1 e Mehlich 3 respectivamente, com os teores de P na massa seca da parte aérea de *Brachiaria decumbens* (2º corte).

## CONCLUSÕES

A matéria seca da parte aérea, diâmetro de colmo e estatura sofrem influência das aplicações de fósforo (P) ao solo, não havendo ação do Si aplicado sobre tais componentes do crescimento.

A pré-aplicação do silício (Si) no solo visando melhorar a disponibilidade de P depende, principalmente, da mineralogia da fração argila do solo, bem como da sua atividade na solução do solo, deslocando ou sendo deslocado por P nos sítios de carga.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, V.V.H. (1985) - *Avaliação da fertilidade do solo: superfícies de resposta – modelos aproximativos para expressar a relação fator-resposta*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 75 p.
- Alvarez, V.V.H.; Novais, R.F.de.; Ias, L.E. e Oliveira, J.A. de (2000) - *Determinação e uso do fósforo remanescente*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, (Boletim informativo v. 25, n.1, jan./março).
- Andrade, F.V.; Mendonça, E.S.; Alvarez, V.V.H. e Novais, R.F. (2003) - Adição de ácidos orgânicos e húmicos em Latossolos e adsorção de fosfato. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 27, 6: 1003-1011.
- Bonfim, E.M. da Silva; Freire, F.J.; Santos, M.V.F. dos.; Silva, T.J.A. da e Freire, Santos, M.B.G. dos Santos (2003) - Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 25, 2 : 323 – 328.
- Braga, J.M. e Defelipo, B.V. (1974) - Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *Revista Ceres*, 21, 113 :73 - 85.
- Braga, J.M.; Mascarenhas, A.A.; Feitosa, C.T.; Hiroce, R. e Raij, B. van (1980) - Efeitos de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 4, 1: 36 – 39.
- Cabala, P. e Santana, M.B.M. (1983) - Disponibilidade e diagnose de fósforo pela análise química do solo com referência ao Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 7, 2 :109 – 118.
- Carvalho, R.; Furtini Neto, A.E.; Curi, N.; Fernandes, L.A. e Oliveira Junior, A.C. (2000) - Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24, 1: 69-74
- Embrapa (1997) - *Manual de método de análise de solo*. 2ª ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA/CNPS, 212 p.
- Fernandes, R.B.A.; Barrón,V.; Torrent, J. e Fontes, M.P.F. (2004) - Quantificação de óxidos de ferro de latossolos brasileiros por espectroscopia de refletância difusa. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 28, 2: 245 – 257.
- Holford, I.C.R. (1980) - Effects of phosphate buffer capacity on critical levels and relationships between soil tests and labile phosphate in wheat-growing soils. *Australian Journal of Soil Research*, 18, 4: 405-414.
- Ker, J.C. (1995) - *Mineralogia, sorção e des-sorção de fosfato, magnetização e elementos traços em latossolos do Brasil*. Dissertação de doutoramento. Viçosa. Universidade Federal de Viçosa, 181 p.
- Leite, P.C. da (1997) - *Interação silício – fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação*. Dissertação de doutoramento, Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 87 p.
- Ma, J. e Takahashi, E. (1990) - The effect of silicic acid on rice in a P - deficient soil. *Plant and Soil*, 26, 1:121 – 125.
- MA, J.F. (2004) - Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. *Soil Science and Plant Nutrition*, 50, 1: 11-18.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C. e Oliveira, S.A. (1997) - *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 319 p.
- Marouelli, R.P. (2003) - *O desenvolvimento sustentável na agricultura do cerrado bra-*

- sileiro. Dissertação de Mestrado. Brasília, Ecobusiness School, 54 p.
- Mehlich, A. (1984) - Mehlich-3 test extractant: a modification of Mehlich-2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 15,12: 1409-1416.
- Neves, P.R. (2003) - *Calagem, fontes e doses de fosfatos no cultivo de soja e suas relações com o fósforo recuperado por diferentes extratores químicos*. Dissertação de doutoramento. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 61 p.
- Novais, R.F.; Neves, J.F.L. e Barros, N.F. (1991) - Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araujo, T.D. e Lourenço, S. (Coord.) - *Métodos de pesquisa em fertilidade do solo*. Brasília, Embrapa, p.189-253.
- Oliveira, L.A. de (2009) - *Silício em plantas de arroz e feijão: absorção, transporte redistribuição e tolerância ao cádmio*. Dissertação de doutoramento. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 157 p.
- Olsen, S.R. e Sommer S,L.E. (1982) - Phosphorus. In: Page, A.L.; Miller, R.H. e Keeney, D.R.(Eds.) - *Methods of soil analysis – Part 2. Chemical and microbiological properties*. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, p 403– 430.
- Prado, R.M. e Fernandes, F.M. (2001) - Efeito da escoria de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo-Vermelho Amarelo cultivada com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 36, 9: 1199-1204.
- Santos, H.Q.; Fonseca, D.M.; Cantarutti, R.B.; Alvarez, V.H. e Nascimento Junior, D. (2002) - Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26, 1: 173-182.
- Silva, F.C. da e Van Raij, B. (1999) - Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 34, 2: 267-288.
- Stefanutti, R.; Muraoka, T. e Malavolta, E. (1994) - Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo. *Scientia Agrícola*, 51, 1: 105 – 112.
- Taiz, L. e Zeiger, E (2004) - *Fisiologia vegetal*. Artmed, Porto Alegre, 719 p.
- Thomas, G.W. e Peaslee, D.E. (1973) - Testing soil for phosphorus. In: Walsh, L.M.; Beaton, J.D. (Eds.) - *Testing and Plant Analysis*. Madison, SSSA, p. 115 - 132.
- Tokura, A.M.; Neto, A.E.F.; Curi, N.; Carneiro, L.F. e Alovisi, A.A. (2007) - Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro. *Acta Scientiarum Agronomy*, 29, 1: 9 – 16.