

CRESCIMENTO DE MUDAS DE CAFEIEIRO RECÉM- PLANTADAS: EFEITO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO

Davi Lopes do Carmo, Heitor Yuji Uzuelle Takahashi, Carlos Alberto Silva,
Paulo Tácito Gontíjo Guimarães

(Recebido: 23 de maio de 2013; aceito: 18 de setembro de 2013)

RESUMO: Objetivou-se, com este estudo, avaliar a influência de diferentes fontes e doses de P na dinâmica da disponibilidade de P, em solo contido em vaso, e sobre seus impactos na nutrição, acúmulo de P e produção de biomassa, em mudas de cafeeiros recém- plantadas. Os tratamentos consistiram de combinações de fontes (adubo organomineral; superfosfato simples; fosfato natural, fosfato natural+torta de filtro e termofosfato magnésiano) e doses (200 e 400 mg kg⁻¹) de P, com o tratamento controle (sem adição de P). Avaliaram-se o pH e teores de Ca²⁺, Mg²⁺, P (Mehlich-1), CTC a pH 7, saturação por bases e matéria orgânica do solo, o acúmulo de P e de outros nutrientes na parte aérea e a massa seca da parte aérea, massa seca de raiz e massa seca total de mudas de cafeeiros. O uso de diferentes fontes de P implica em mudanças significativas no grau de fertilidade do solo, de modo que a dose de P-termofosfato precisa ser calculada com precisão, para que não ocorra aumento exagerado do pH e dos teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ em solo. As maiores produções de massa seca foram obtidas quando se utilizou o P-organomineral e P-fosfato natural+torta, mas o efeito dessas fontes sobre o crescimento inicial do cafeeiro em vaso depende da dose aplicada. O uso de adubo organomineral propiciou acúmulos de macro e micronutrientes superiores aos notados para a maioria das outras fontes de P testadas.

Termos para indexação: Torta de filtro, fixação de P, adubo organomineral, fosfato natural de baixa reatividade, termofosfato, nutrição fosfatada.

GROWTH OF COFFEE SEEDLINGS RECENTLY PLANTED: EFFECT OF PHOSPHORUS SOURCES AND DOSES

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the influence of different P sources and doses in the dynamics of P availability in soil contained in pots and on their impact on nutrition, P accumulation and biomass production in coffee recently planted. Treatments consisted of combinations of sources (organomineral fertilizer, superphosphate, rock phosphate, rock phosphate+filter cake and termal phosphate) and doses (200 and 400 mg kg⁻¹) of P, and the control as in additional treatment (no P addition). It was evaluated the pH, Ca²⁺, Mg²⁺, P (Mehlich-1), CEC at pH 7, base saturation and soil organic matter, the accumulation of P and other nutrients in shoots and dry weight of shoot, root dry weight and total dry mass of coffee seedlings planted cultivated in greenhouse conditions. The use of different sources of P imply significant changes in the degree of fertility of the soil, so that the dose of thermophosphate P need to be accurately calculated, since it causes exaggerated increases in pH and Ca²⁺ and Mg²⁺ in soil. The highest yields of dry matter were obtained when P was furnished as organomineral and phosphate+filter cake fertilizers, but the effect of these sources on the initial growth of the coffee plants depends on the dose applied. The use of organomineral fertilizer increased the accumulation of macro and micronutrients, in higher contents than those noted for most other phosphorus sources tested.

Index terms: Filter cake, P fixation, organomineral fertilizer, phosphate rock with low solubility, thermophosphate, phosphorus nutrition.

1 INTRODUÇÃO

O fósforo é um dos nutrientes que mais limitam o crescimento das plantas, principalmente na fase de mudas, que apresentam sistema radicular pouco desenvolvido, sendo normal o nível crítico do nutriente em solo ser maior para mudas do que para plantas em produção (NOVAIS; SMITH, 1999). Para cultivo em vasos, é recomendada, independentemente do solo, de sua textura, da espécie cultivada e do tamanho do

vaso, a aplicação de 300 mg kg⁻¹ de P (NOVAIS; NEVES; BARROS, 1991). Mas não se sabe se essa dose aplica-se a cafeeiros no estágio de mudas em crescimento inicial.

Além da dose, as plantas são afetadas pelas fontes de P, que se diferenciam em razão de suas solubilidades, composições químicas, da influência que exercem sobre as características do solo, principalmente sobre o pH e sobre os teores de Ca²⁺, Mg²⁺, S-sulfato e de micronutrientes

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG davigoldan@yahoo.com.br

²Nutrisafra Fertilizantes Ltda - Rua Baumann, 1337 - Vila Leopoldina - São Paulo - SP - 05318-000 - heitor.takahashi@nutrisafra.com.br

³Universidade Federal de Lavras/UFLA - Departamento de Ciência do Solo/DCS - Cx. P. 3037 - 37.200-000 - Lavras - MG csilva@dcs.ufla.br

⁴Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais/EPAMIG - Cx. P. 176 - 37.200-000 - Lavras - MG - paulotgg@ufla.epamig.br

(MOREIRA; MALAVOLTA; MORAES, 2002; RAMOS et al., 2006), reatividade e velocidade de liberação de P (CAIONE et al., 2012). Os fertilizantes fosfatados podem ser classificados em reativos ou de baixa solubilidade, sendo que as fontes solúveis são as mais utilizadas, principalmente para mudas, devido à pronta disponibilidade do P para as plantas (CAIONE et al., 2012; NOVAIS; SMITH, 1999).

Os fosfatos naturais são provenientes de rochas fosfáticas moídas, que podem ou não passar por processos físicos de concentração. A maioria dos fosfatos naturais brasileiros possui baixa solubilidade de P em água e reduzida eficiência agrônômica, razão porque se mostra dependente da cultura, pH da rizosfera e do solo, dose aplicada e forma de aplicação/localização do adubo e do requerimento de cálcio pelas plantas (MARWAHA, 1989; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007; SILVA et al., 2009). O superfosfato simples é produzido por meio da reação do ácido sulfúrico (H_2SO_4) com a rocha fosfatada moída, por isso engloba em sua composição, o sulfato de cálcio, e os nutrientes acompanhantes ou adicionais que interferem na resposta das plantas ao P desse fertilizante. Os termofosfatos são fabricados a partir da fusão, em altas temperaturas, de matrizes silicatadas, rochas de magnésio e fosfatos naturais, formando silicato de magnésio, o que implica em solubilidade elevada, além de possuírem capacidade de corrigir a acidez do solo (ALCARDE, 1992). Alguns termofosfatos podem atuar também como fonte de micronutrientes; a presença de Mg potencializa a aquisição de P pelas plantas, e a presença de silício minimiza a fixação de P no solo, de modo que esses efeitos adicionais podem implicar em maior eficiência de uso do P-termofosfato, em relação às fontes solúveis de P convencionalmente aplicadas nas lavouras (BÜLL; LACERDA; NAKAGAWA, 1997; RESENDE et al., 2006).

Vários estudos demonstram a superioridade dos fosfatos solúveis em relação aos fosfatos naturais, para diversas culturas (COSTA et al., 2008; OLIVEIRA JUNIOR; PROCHNOW; KLEPKER, 2008; RESENDE et al., 2006). Apesar da elevada eficiência agrônômica dos fosfatos solúveis (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004), a rápida liberação de P, por meio desses fertilizantes, pode favorecer o processo de adsorção e precipitação no solo (BEDIN et al., 2003), o que reduz a disponibilidade de P para as plantas, ao longo do tempo, além de apresentar custo elevado.

Existem fontes alternativas de P (PROCHNOW; ALCARDE; CHIEN, 2004), entre elas, os fertilizantes organominerais e os fosfatos naturais reativos de maior solubilidade.

Os fertilizantes organominerais, em geral, resultam da compostagem de fosfato, pouco solúvel, com resíduos orgânicos diversos, como bagaço de cana, torta de filtro, e da adição de organismos selecionados para solubilizar o P de baixa reatividade, com vistas à elevação do P solúvel final (NOVAIS; SMYTH, 1999). Os fertilizantes organominerais, dependendo de sua reatividade, podem resultar em maior eficiência de uso de P pelas plantas, pelo fato de os ânions de ácidos orgânicos e de outros ligantes orgânicos bloquearem os sítios de adsorção de P e, ou, complexarem o Fe e Al do solo; os adubos organominerais podem, ainda, possuir formas de P mais lábeis do que as contidas em outros adubos de alta solubilidade (ANDRADE et al., 2003; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Essa característica dos fertilizantes organominerais é de grande importância, pois cerca de 90% do P solúvel em água, aplicado ao solo, pode ser adsorvido pelos coloides, principalmente aqueles presentes em solos argilosos (NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007).

Em função das características diferenciadas das fontes de P e de seus efeitos no solo e nas plantas, há a necessidade de se investigar se a dose ótima varia entre as fontes de P e se fontes de P, que contêm matéria orgânica biodegradável ou algumas de suas frações estimuladoras, podem proporcionar melhor eficiência agrônômica, em relação às fontes solúveis disponíveis no mercado.

Objetivou-se, com este estudo, avaliar a influência de diferentes fontes e doses de P na dinâmica da disponibilidade de P, em solo contido em vaso, e sobre seus impactos na nutrição, acúmulo de P e produção de biomassa de mudas de cafeeiros recém-plantadas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, de dezembro de 2011 a abril de 2012. Utilizaram-se amostras de solo (0–20 cm), que foram coletadas em um Latossolo Vermelho distroférico típico, textura argilosa, situado em Lavras, MG. O solo foi seco ao ar e passado em peneira com malha de 4 mm, para o ensaio em casa de vegetação, e de 2 mm, para o uso em laboratório, nas determinações de suas características físicas e químicas.

As características físicas e químicas do solo (condição natural) foram analisadas de acordo com os protocolos analíticos descritos pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2009). O solo, em condições naturais, apresentou as seguintes características: argila= 650 g kg⁻¹; silte=120 g kg⁻¹; areia= 230 g kg⁻¹; pH (em água)=5,1; P (Mehlich-1)=1,2 mg dm⁻³; K⁺=22 mg dm⁻³; Ca²⁺=0,4 cmol_c dm⁻³; Mg²⁺=0,1 cmol_c dm⁻³; Al³⁺=0,8 cmol_c dm⁻³; T=8,2 cmol_c dm⁻³, V=25% e m=59%.

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, com 11 tratamentos e 3 repetições, totalizando 33 parcelas experimentais. Os tratamentos foram dispostos em esquema fatorial [(5 x 2) + 1], de modo que foram testadas combinações de cinco fontes: 1-adubo organomineral-Biorin® (AO), 2-superfosfato simples (SS), 3-fosfato natural de baixa solubilidade (FN), 4-mistura de fosfato natural+torta de filtro (FNT) e 5-termofosfato magnesiano (TM), duas doses (200 e 400 mg kg⁻¹) de P, e o tratamento controle (sem adição de P). As composições químicas dos fertilizantes fosfatados testados são descritas na Tabela 1.

Com base na análise química do solo, calculou-se a dose de corretivo para elevar a saturação por bases a 60%, utilizando-se CaCO₃ e MgCO₃ p.a., respectivamente, na proporção de 4:1; a dose de P foi calculada com base no teor de P₂O₅ total de cada fonte. As fontes e doses de P foram incorporadas em massa de 3,5 kg de solo. Cultivaram-se mudas de cafeeiro cultivar Mundo Novo IAC 379/19, com seis meses de idade, que foram obtidas no viveiro da Epamig, situado no município de São Sebastião do Paraíso-MG. Após um mês de aclimação em casa de vegetação, as mudas foram retiradas de sacos plásticos e as raízes foram lavadas com água destilada, para eliminar os

resíduos do substrato utilizado para germinação. Antes do transplante das mudas para os vasos, os solos com os tratamentos foram incubados por 30 dias, com adição semanal de água para manter a umidade próxima da capacidade de campo. Cultivou-se uma planta por vaso, caracterizada aqui como a unidade experimental do estudo. Durante o estudo, a umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo, com reposição de água deionizada efetuada diariamente, mediante a pesagem dos vasos.

A primeira e segunda adubações complementares foram realizadas aos 37 e 64 dias após o transplante das mudas, respectivamente, com adição de 100 mg kg⁻¹ de N e de K na primeira e 200 mg kg⁻¹ de N e de K, na segunda adubação, utilizando-se, para isso, fontes p.a. de NH₄NO₃ e K₂SO₄. A adição de micronutrientes ao solo foi feita aplicando-se aos 42 dias após o início do experimento solução contendo 139 mg L⁻¹ de H₃BO₃, 185 mg de CuSO₄, 395,5 mg de MnCl₂ e 527,9 mg L⁻¹ de ZnSO₄, sendo essa dividida em duas aplicações (50 ml vaso⁻¹ de solução adicionada em cada aplicação), com intervalo de 7 dias, visando-se adicionar ao solo 0,5 mg kg⁻¹ de B, 1,33 mg kg⁻¹ de Cu, 3,66 mg kg⁻¹ de Mn e 4,0 mg kg⁻¹ de Zn.

Decorridos 90 dias de implantação dos tratamentos e do plantio, as mudas foram lavadas em água deionizada e subdivididas em raízes e parte aérea. As determinações dos pesos de massa seca de raízes e da parte aérea, separadamente, foram efetuadas a partir do material acondicionado em sacos de papel, que foram secos em estufa de circulação forçada a 70 °C, até atingir peso constante; em seguida, o material vegetal seco foi pesado em balança de precisão (0,001g), sendo a biomassa de raiz e da parte aérea expressas em g vaso⁻¹.

TABELA 1 - Relação das fontes de P e suas garantias técnicas de concentrações de nutrientes.

Fonte de P	Composição química
AO	18% de P ₂ O ₅ total; 4% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico; 15% de Ca; 8% de carbono orgânico
SS	18% de P ₂ O ₅ total; 2% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico; 18% de Ca e 12% de S
FN	24% de P ₂ O ₅ total; 4% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico
T	1,81% de P ₂ O ₅ total; 0,77% de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico; 0,46% de K; 0,17% de Ca; 0,18% de Mg; 12% de carbono orgânico total
TM	17,5% de P ₂ O ₅ total; 7,5 % de P ₂ O ₅ solúvel em ácido cítrico; 20% de CaO; 7% de MgO; 25% de SiO ₂ ; 0,55% de Zn; 0,1% de B; 0,12% de Mn e 0,05% de Cu

AO=adubo organomineral; SS=superfosfato simples; FN=fosfato natural; T=torta de filtro e TM=termofosfato magnesiano.

A massa seca obtida foi moída em moinho tipo Willey, passada em peneira fina (40 mesh) e homogeneizada, para as determinações dos teores de nutrientes, seguindo os métodos descritos por Miyazawa et al. (2009). A partir da multiplicação da massa seca da parte aérea pelos seus respectivos teores de macro e micronutrientes (g kg^{-1}), calcularam-se os seus acúmulos na parte aérea.

Os dados foram submetidos à análise de variância, com a aplicação do teste F, ao nível de 5 % de probabilidade e, quando significativo, aplicou-se o teste Scott-Knott para comparação de médias dos tratamentos, com auxílio do programa Sisvar (FERREIRA, 2003).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As aplicações de diferentes fontes e doses de P promoveram alterações químicas no solo (Tabela 2). Em relação ao controle, para todas as fontes de P utilizadas, houve diminuição do pH do solo, com exceção do TM, que elevou o pH para valores além do tecnicamente recomendado para a cultura. O acréscimo do pH do solo provocado pelo TM é justificado pela reação alcalina do fertilizante no solo, em razão de ânions de silicato de Ca^{2+} ou Mg^{2+} contidos no adubo (BÜLL; LACERDA; NAKAGAWA, 1997). No estudo de Moreira, Malavolta e Moraes (2002), com alfafa, a aplicação de TM resultou em aumento do pH do solo de 0,15 a 0,25 unidade por 50 mg kg^{-1} de P aplicado. Neste estudo, houve aumentos de 0,2 e 0,1 unidade de pH do solo, para as doses de 200 e 400 mg kg^{-1} , respectivamente. Esse aumento do pH, para valores acima dos recomendados para o cafeeiro, quando se utiliza o TM, pode gerar problemas, dado que ele é acompanhado de aumentos nos teores de Ca^{2+} , o que pode implicar na redução da disponibilidade de P, pela formação de CaHPO_4 , que possui baixa solubilidade (MACHADO; SILVA, 2001).

Quando foram aplicados 400 mg kg^{-1} de P, os teores de Ca^{2+} do solo aumentaram em 4,0 e $1,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para o SS e TM, respectivamente, em comparação com o controle. Os teores de Mg^{2+} no solo aumentaram de 1,0 para $2,2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, quando comparado ao controle, com o aumento da dose de P de 200 para 400 mg kg^{-1} , quando a fonte foi o TM.

As alterações dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} interferiram na relação Ca/Mg do solo, que aumentou de 6,1 para 10, para o SS, e

reduziu de 2,2 para 1,7, para o TM, em razão do acréscimo da dose de P de 200 para 400 mg kg^{-1} , respectivamente, ficando fora da relação ideal (4,5:1) para o cafeeiro (MALAVOLTA, 2006). A relação inadequada de Ca/Mg pode reduzir o crescimento da planta, em função dos desequilíbrios nutricionais (MOREIRA; CARVALHO; EVANGELISTA, 2005), o que torna importante levar em consideração, na escolha da fonte de adubo fosfatado para a cultura do cafeeiro, as proporções relativas de Ca e Mg no solo, visto que esses nutrientes competem entre si por sítios de troca no solo e por locais de aquisição nas raízes (SILVA et al., 2008). O desbalanço no fornecimento de Ca e de Mg pode ainda afetar a absorção de K e de N-amoniaco pelas plantas, de modo que o suprimento balanceado desses cátions às mudas, deve ser considerado. Em relação ao grau de acidez do solo, além do efeito do corretivo de acidez, é preciso considerar o efeito em solo de fonte e doses de P fornecidas ao cafeeiro.

A CTC a pH 7 varia em função da fonte e da dose de P aplicada. Em geral, o acréscimo da dose de P aumenta a CTC a pH 7, para a maioria das fontes testadas, principalmente para o SS e para o TM. Vale lembrar que o cálculo da CTC é indireto e baseia-se na soma de bases e na acidez potencial presente no solo, de modo que os efeitos das doses e fontes de P sobre esses atributos explicam as variações na capacidade de o solo reter cátions. As variações nos teores de matéria orgânica são pequenas e se materializam no solo na forma de pequenos aumentos do C com o acréscimo da dose de P, para a maioria das fontes. Aumentos na saturação por bases foram constatados em relação ao controle, com destaque para o SS, que, em média, elevou em cerca de 10% a saturação por bases, para a dose de 400 mg kg^{-1} ; para o TM, aumentos médios em cerca de 8,6 e 21% na saturação por bases foram verificados, para as doses de 200 e 400 mg kg^{-1} , respectivamente, sendo essas alterações relacionadas aos aportes ao solo de Ca e Mg por esses fertilizantes.

A análise de variância mostrou efeito significativo na interação entre doses e fontes de P, para os atributos de crescimento vegetativo (MSPA, MSR, MSPA/MSR e MST), em mudas de cafeeiro (Tabela 3).

Comparando as fontes, dentro de cada dose de P, e as doses, dentro de cada fonte, foram verificadas diferenças significativas para a MSPA, MSR, MSPA/MSR e MST (Figura 1). As produções de MSPA, MSR, MST e a relação MSPA/MSR, para a dose de 200 mg kg^{-1} de P,

TABELA 2 - Caracterização química do solo, numa fase anterior ao transplante das mudas de cafeeiro em vaso, após a incubação do solo com fontes e doses de P.

Fonte	Dose de P (mg kg ⁻¹)	pH água	Ca ²⁺	Mg ²⁺	CTC	Relação Ca/Mg	V	MO
			cmol _c dm ⁻³				%	dag kg ⁻¹
AO	200	6,2	3,5	1,0	7,8	3,5	66,7	2,7
	400	6,2	4,5	1,2	8,7	3,8	73,5	3,3
SS	200	6,1	4,9	0,8	9,2	6,1	68,6	3,0
	400	6,0	8,0	0,8	12,3	10,0	76,4	2,7
FN	200	6,3	4,2	0,7	8,0	6,0	67,7	2,7
	400	6,3	3,9	0,8	7,9	4,9	67,0	3,1
FNT	200	6,3	3,6	0,7	7,5	5,1	65,2	3,0
	400	6,3	3,5	0,7	7,4	5,0	65,0	3,4
TM	200	6,9	4,0	1,8	8,5	2,2	75,6	3,1
	400	6,8	5,1	3,0	10,4	1,7	84,1	3,3
C	0	6,7	3,9	0,8	7,6	4,9	69,6	2,7

⁽¹⁾valores com média de três repetições. C=controle; AO=adubo organomineral; SS=superfosfato simples; FN=fosfato natural; FNT=fosfato natural+torta de filtro e TM=termofosfato magnesiano.

TABELA 3 - Resumo da análise de variância para os atributos de crescimento em mudas de cafeeiro, em função de diferentes fontes e doses de P.

Fonte de variação	GL	QM			
		MSPA	MSR	MSPA/MSR	MST
Dose	1	3,49 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,11 ^{ns}	5,94 ^{ns}
Fonte	4	36,5*	0,71*	2,09*	46,8*
Dose*Fonte	4	19,6*	0,33*	2,35*	22,8*
Fatorial vs. Controle	1	102,9*	2,26*	5,78*	135,8*
Resíduo	22	2,09	0,09	0,34	2,65
Total corrigido	32				
CV (%)	-	15,1	13,9	13,7	13,8

GL=grau de liberdade; QM=quadrado médio; ^{ns}=não significativo; *=Significativo (p<0,05), pelo teste F; MSPA=massa seca da parte aérea; MSR=massa seca da raiz; relação de MSPA/MSR e MST=massa seca total.

foram significativamente menores para o FN, em relação às outras fontes de P. Esse resultado está relacionado à baixa eficiência agrônômica do P-fosfato natural, devido à baixa solubilidade em água de formas de P, nele contidas (NOVAIS; SMYTH, 1999), o que implica em não atendimento do requerimento de P, na velocidade em que as plantas demandam o nutriente, causando redução na fotossíntese e na produção de massa seca (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Para a dose de 400 mg kg⁻¹ de P, o AO propiciou produções significativamente maiores

de MSPA, MSR, MSPA/MSR e MST, em comparação às demais fontes de P, com exceção da MSR obtida com o uso do SS. Esse resultado se deve, possivelmente, ao aumento de teores de P no solo juntamente com outros nutrientes, de forma equilibrada.

Observa-se que, nem todos os tratamentos com adição de P proporcionaram aumentos na MSPA, MSR, MSPA/MSR e MST, como é o caso do FN nas doses de 200 e 400 mg kg⁻¹ de P, e para o FNT, na dose de 400 mg kg⁻¹ de P. O FNT se destacou ao reduzir de forma

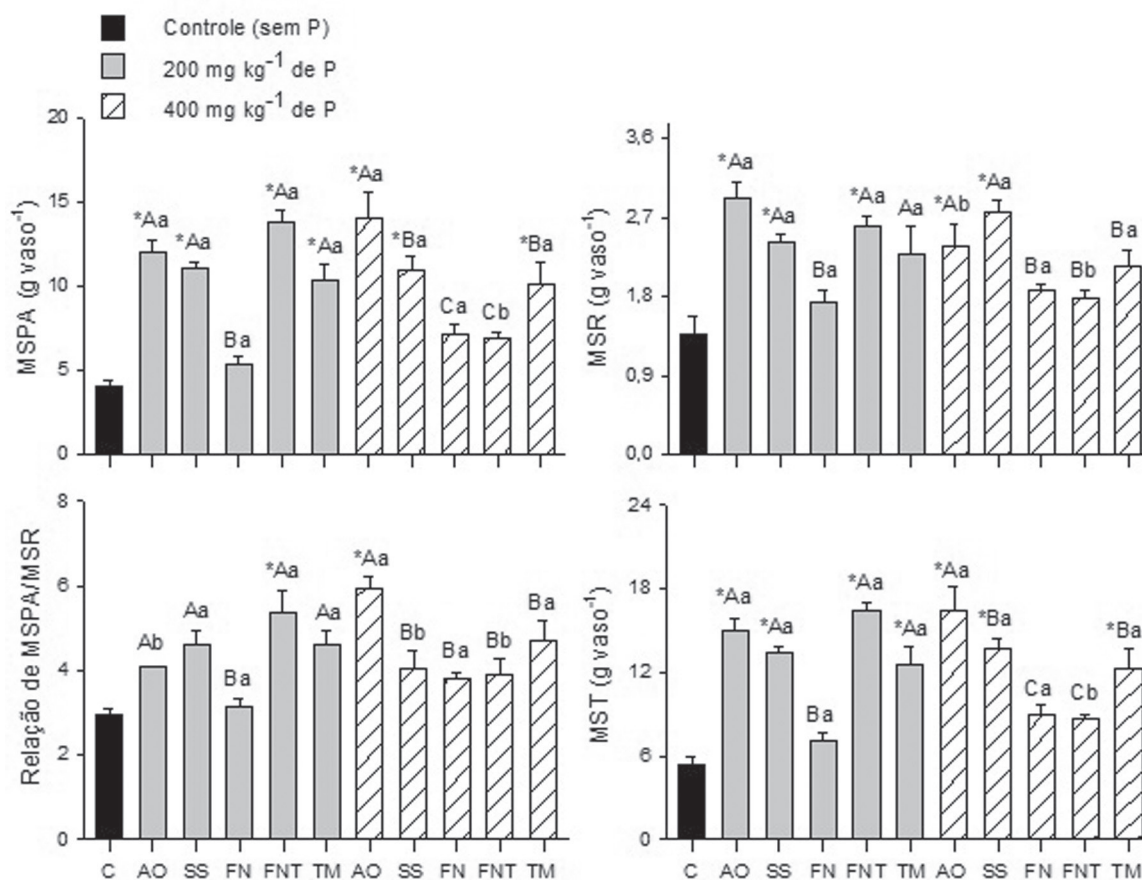


FIGURA 1 - Desdobramento da interação entre as doses e fontes de P, para a produção de massa seca de mudas de cafeeiro. C=controle; AO=adubo organomineral; SS=superfosfato simples; FN=fosfato natural; FNT=fosfato natural+torta de filtro e TM=termofosfato magnésiano. MSPA=massa seca da parte aérea; MSR=massa seca da raiz; relação de MSPA/MSR e MST=massa seca total. *=Difere do tratamento controle pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$). Médias seguidas de letra maiúscula comparam as fontes em cada dose e minúscula comparam as doses em cada fonte, sendo que letras iguais não diferem entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

significativa a MSPA, MSR, MSPA/MSR e MST, com o aumento da dose de P. As reduções nos parâmetros de crescimento verificadas devido ao uso do FNT, possivelmente, ocorreram em função de desequilíbrio no fornecimento de nutrientes e de seus efeitos sobre os atributos do solo, com reflexos na nutrição das plantas, tendo em vista que o solo adubado com esse fosfato apresentou teores adequados de P.

Os teores de P, disponíveis no solo, ajustaram-se ao modelo matemático do tipo quadrático, sendo notado, independentemente da fonte utilizada, acréscimo nos teores de P em solo, com o aumento da dose de P aplicada (Figura 2). Os resultados obtidos estão de acordo com os obtidos em outros estudos (FONTOURA et al., 2010; ONO et al., 2009; PRADO; VALE; ROMUALDO, 2005).

Esse aumento no P disponível deve-se à diminuição da adsorção do P em colóides do solo, à medida que a sua concentração em solo é aumentada (WHALEN; CHANG, 2002). Observa-se que a disponibilidade de P, em solo, proporcionada pelo FN e FNT foram superiores às verificadas para o SS, TM e AO. Esse fato, possivelmente, pode ser explicado devido à capacidade da solução de Mehlich-1 em superestimar o P disponível no solo adubado com FN (KLIEMANN; LIMA, 2001); por apresentar caráter ácido, a solução de Mehlich 1, solubiliza fosfato de Ca que, aparentemente, não é disponível para as plantas, ou seja, durante o ciclo de crescimento o P, aparentemente disponível pelo extrator, não é fornecido na velocidade requerida pela planta durante a fase de aquisição, daí a superestimação do P disponível no solo (ROSSI et al., 1999).

Houve aumento nos valores de MST, em função dos teores de P disponível no solo, com ajuste a esses dados do modelo matemático do tipo quadrático, para os adubos FN, FNT e TM, com pontos de máxima produção de MST de 9,7, 17,5 e 13,8 g vaso⁻¹, respectivamente. No caso do AO e SS, os dados se ajustaram ao modelo matemático do tipo exponencial, com produção máxima de 16,4 e 13,7 g vaso⁻¹, respectivamente, na dose de 400 mg kg⁻¹ (Figura 3). Esse resultado ocorre em função de o P desempenhar funções importantes na fotossíntese, transferência e armazenamento de energia, formação e desenvolvimento de raízes, aumento da eficiência na utilização da água, absorção e utilização de outros nutrientes (TAIZ; ZEIGER, 2004).

As maiores produções de MST foram verificadas para o FNT e AO, enquanto que, a menor produção foi verificada para o FN. Esse resultado, provavelmente, deve-se à ocupação dos sítios de adsorção de fosfato pelos ácidos orgânicos presentes na matéria orgânica desses fertilizantes e, conseqüentemente, devido ao aumento da disponibilidade de P para as plantas (ANDRADE et al., 2003; NOVAIS; SMYTH; NUNES, 2007). Os pontos máximos de MST não foram para os maiores teores de P disponíveis no

solo, o que pode estar relacionado com o equilíbrio de nutrientes disponíveis no solo, com reflexos na nutrição e crescimento vegetativo das plantas.

O efeito do P-organomineral sobre a biomassa mostra a importância da matéria orgânica associada à adubação fosfatada, já que é possível, com essas fontes, a ocupação pelos ligantes orgânicos de sítios de adsorção no solo de P, menor reação do P organomineral com os minerais de argila e óxidos de ferro, e isso tudo traduz-se em aumento da disponibilidade de P para as plantas (PAVINATO; ROSELEM, 2008; ROSSETTO; DIAS; VITTI, 2008); além disso, observa-se que, com mais matéria orgânica no solo, há aumento da solubilidade do P pelos microorganismos (HUSSAIN; ABO GHALIA; ABDALLAH, 2001). Outro ponto que deve ser levado em consideração é o de que as fontes AO e FNT apresentaram relações de Ca/Mg mais próximas do ideal para a cultura do cafeeiro (Tabela 2), o que, possivelmente contribuiu também para a maior produção de massa seca.

A análise de variância comprovou efeito significativo para a interação entre doses e fontes de P para os acúmulos de macro e micronutrientes, em mudas de cafeeiro (Tabela 4).

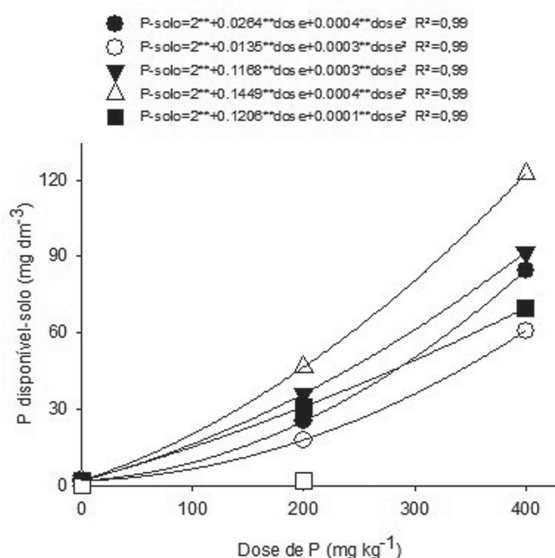


FIGURA 2 - Relação entre dose de P e P disponível no solo, para as diferentes fontes de P testadas. \bullet =adubo organomineral; \circ =superfosfato simples; \blacktriangledown =fosfato natural; \triangle =fosfato natural+torta de filtro; \blacksquare =termofosfato magnesiano. **=significativo ($p<0,01$), pelo teste F.

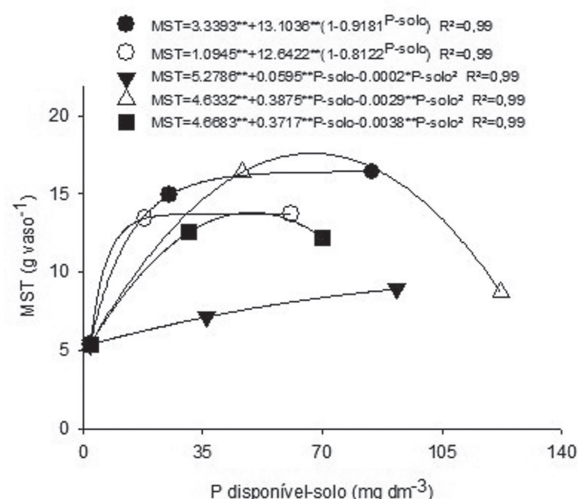


FIGURA 3 - Relação entre P disponível no solo e massa seca total (MST), para as cinco fontes de P utilizadas no crescimento de mudas de cafeeiro. \bullet =adubo organomineral; \circ =superfosfato simples; \blacktriangledown =fosfato natural; \triangle =fosfato natural+torta de filtro; \blacksquare =termofosfato magnesiano. * e **= significativos ($p<0,05$) e ($p<0,01$), respectivamente, pelo teste F.

Para a dose de 200 mg kg⁻¹ de P, o AO e FNT apresentaram acúmulos de N, P, S, Ca e Zn significativamente maiores do que os verificados para as outras fontes de P testadas, enquanto que o FN causou acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Zn, e Fe inferiores às demais fontes. Na dose de 400 mg kg⁻¹ de P, o AO se destacou em relação às demais fontes de P, por propiciar maiores acúmulos de P, K, Ca, S, B, Cu, Zn, Mn e Fe.

Com o aumento da dose de 200 para 400 mg kg⁻¹ de P, verificaram-se incrementos significativos nos acúmulos de P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn e diminuição no N presente na parte aérea, para o AO, enquanto que, com o uso de FNT houve diminuição significativa nos acúmulos de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Zn e Fe. O SS proporcionou aumentos no acúmulo de N, Ca, Mg e B e diminuição no Cu e Zn, e o TM, aumentou os acúmulos de N, Ca, Mg e S e diminuiu os de K e Fe na parte aérea, de forma significativa. Os maiores acúmulos de P na MSPA proporcionados pelo AO, nas doses de 200 e 400 mg kg⁻¹ de P, e pelo FNT, na dose de 200 mg kg⁻¹ de P, podem ser atribuídos aos maiores teores de P disponíveis no solo, com

valores de 25, 84 e 46 mg dm⁻³, respectivamente, com exceção do FNT na dose de 400 mg kg⁻¹ de P, que apresentou teor elevado, da ordem de 122 mg dm⁻³ e, por isso, pode ter provocado desequilíbrio nutricional.

Estes resultados devem-se à maior solubilidade de P-orgânico e P-lábil provocado pela matéria orgânica, contidas nesses fertilizantes (GATIBONI et al., 2008; NÚÑES et al., 2003). Os menores acúmulos provocados pelo SS, TM e FN, possivelmente, devem-se às relações de Ca/Mg inadequadas no solo e aos menores teores de P disponíveis no solo, com valores de 18 e 60 mg dm⁻³ para o SS, nas doses de 200 e 400 mg kg⁻¹, respectivamente, e 31 e 69 mg dm⁻³ para o TM, nas doses de 200 e 400 mg kg⁻¹, respectivamente.

Os teores do P disponível para FN não podem ser válidos, já que há a possibilidade da solução de Mehlich 1 superestimar o P disponível para as plantas (KLIEMANN; LIMA, 2001), e já se sabe que o FN possui baixa eficiência em fornecer P para as plantas.

TABELA 4 - Resumo da análise de variância para os acúmulos de macro e micronutrientes, em mudas de cafeeiro, em função de fontes e doses de P.

Fonte de Variação	GL	QM					
		N	P	K	Ca	Mg	S
Dose	1	5383*	2,44 ^{ns}	5515*	0,98 ^{ns}	0,06 ^{ns}	2,37 ^{ns}
Fonte	4	33173*	38,2*	21804*	4987*	420*	42,4*
Dose*Fonte	4	18077*	23,6*	17272*	2833*	197*	24,9*
Fatorial vs. Controle	1	119435*	115*	55474*	13058*	929*	73,1*
Resíduo	22	151	0,96	92,1	19,0	1,40	0,89
Total corrigido	32						
CV (%)		4,11	11,1	4,29	4,02	4,24	10,6
		B	Cu	Zn	Fe	Mn	-
Dose	1	117990*	40,3 ^{ns}	726*	144958 ^{ns}	15610*	-
Fonte	4	204638*	21984*	12938*	2126313*	166435*	-
Dose*Fonte	4	100685*	10894*	3158*	540481*	62214*	-
Fatorial vs. Controle	1	292311*	9601*	20352*	3052393*	296439*	-
Resíduo	22	1972,3	188	68,1	50411	1076	-
Total corrigido	32						
CV (%)		10,9	8,42	5,52	12,90	5,98	-

GL=grau de liberdade, QM=quadrado médio, *Significativo (p<0,05) pelo teste F.

Observa-se, de um modo geral, que os acúmulos de P e outros nutrientes causados pelo FN, na dose de 200 mg kg⁻¹ de P, não apresentaram diferença significativa em comparação ao controle, o que implica, possivelmente, na baixa eficiência desse adubo em fornecer P e liberar outros nutrientes, resultando em menores produções de MSPA, MSR, MST e relação MSPA/MSR (Figura 4).

Em geral, o maior acúmulo de nutrientes na parte aérea e produções de massa seca foram alcançados quando o P foi aplicado no solo, predominantemente na forma orgânica, como foi caso do AO e FNT, fosfatos de alta e baixa solubilidade, respectivamente.

Esses resultados atestaram a importância de se adicionar ao solo P e ligantes orgânicos, de modo que estudos futuros devem preconizar a avaliação das interações de ácidos orgânicos, substâncias húmicas e outras matrizes presentes nos adubos organominerais sobre a fixação de P em solo, sobre o transporte do P e de outros nutrientes e sobre a velocidade de absorção de P e outros nutrientes por plantas adubadas, com os adubos com matriz orgânica conjugada. O estudo desses processos deve englobar também a especiação das formas de P presentes nos adubos orgânicos, no sentido de que seja estudada a velocidade de aquisição de formas mais e menos lábeis de P contidas no adubo organomineral por mudas de café.

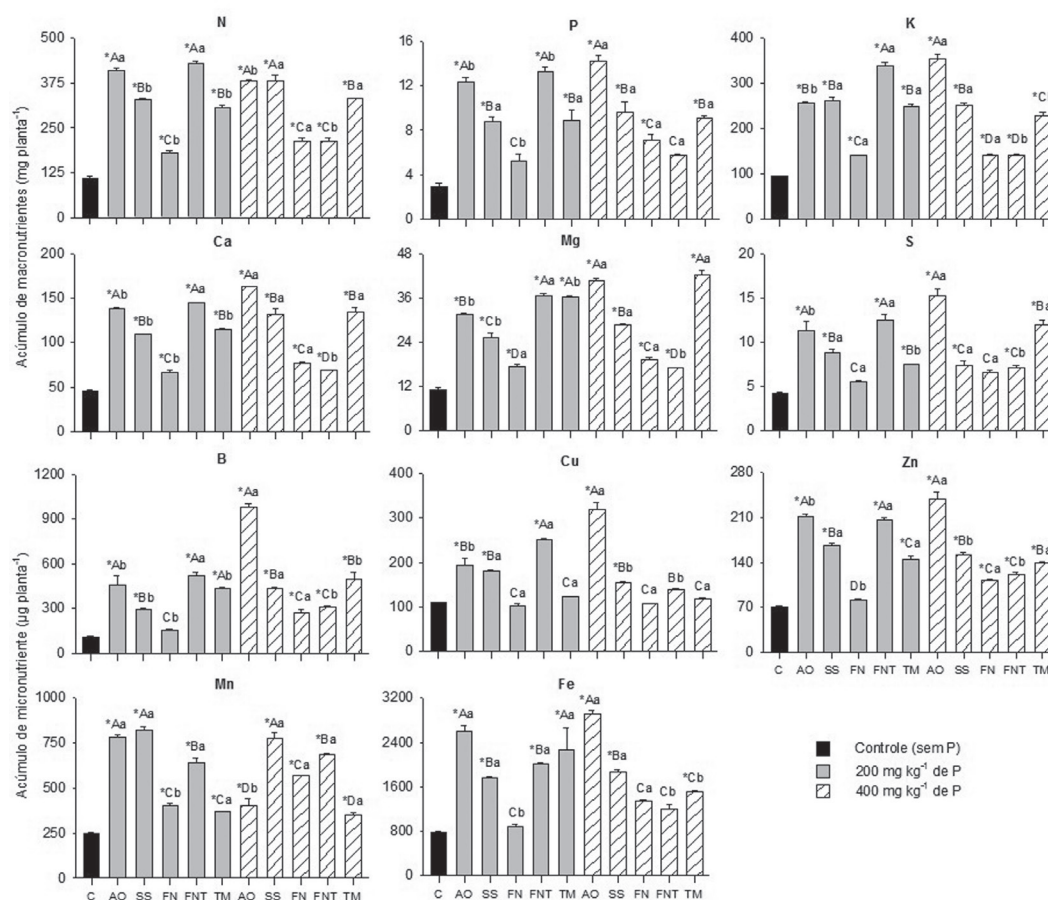


FIGURA 4 - Desdobramento da interação entre as doses e fontes de P, para os acúmulos de macro e micronutrientes na parte aérea de mudas de café. C=controle; AO=adubo organomineral; SS=superfosfato simples; FN=fosfato natural; FNT=fosfato natural+torta de filtro e TM=termofosfato magnésiano. *=Difere do tratamento controle pelo teste t de Bonferroni ($p < 0,05$). Médias seguidas de mesma letra maiúscula, que comparam fontes dentro de cada dose de P, e minúscula, que comparam as doses em cada fonte de P, não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$).

4 CONCLUSÕES

Independentemente da fonte de P utilizada, a disponibilidade de P no solo aumenta com o acréscimo da dose do nutriente; O uso de diferentes fontes de P implica em mudanças significativas no grau de fertilidade do solo, de modo que a dose de P-termofosfato precisa ser calculada com precisão, para que não ocorra aumento exagerado do pH e dos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} em solo; As maiores produções de massa seca ocorrem quando se utiliza o P-organomineral e P-fosfato natural+torta, mas o efeito dessas fontes sobre o crescimento inicial do cafeeiro em vaso depende da dose aplicada. O uso de adubo organomineral propicia acúmulos de macro e micronutrientes, na parte aérea do cafeeiro, superiores aos notados para a maioria das outras fontes de P testadas.

5 AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, por fornecer toda a infraestrutura para condução do estudo e realização de análises laboratoriais.

6 REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez dos solos:** características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).
- ANDRADE, F. V. et al. Addition of organic and humic acids to Latosols and phosphate adsorption effects. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1003-1011, nov./dez. 2003.
- BEDIN, I. et al. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 639-646, jul./ago. 2003.
- BÜLL, L. T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfato: alterações em propriedades químicas em um Latossolo Vermelho-Escuro e eficiência agrônoma. **Bragantia**, Campinas, v. 56, n. 1, p. 169-179, 1997.
- CAIONE, G. et al. Produtividade e valor nutricional de variedades de cana-de-açúcar sob diferentes fontes de fósforo. **Ciências Agrárias**, Teresina, v. 33, n. 7, p. 2813-2824, 2012.
- COSTA, S. E. V. G. A. et al. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, set./out. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília, 2009. 628 p.
- FERREIRA, D. F. **SISVAR software**. Versão 4.6. Lavras: UFLA, 2003.
- FONTOURA, S. M. V. et al. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em Latossolo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1907-1914, 2010.
- GATIBONI, L. C. et al. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1753-1761, 2008.
- HUSSAIN, A. A.; ABOGHALIA, H. H.; ABDALLAH, S. A. Rock phosphate solubilization by Aspergilli species grown on olive-cake waste and its application in plant growth improvement. **Egyptian Journal of Biology**, Cairo, v. 3, p. 89-86, 2001.
- KLIEMANN, H. J.; LIMA, D. V. Eficiência agrônoma de fosfatos naturais e sua eficiência no fósforo disponível em dois solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 111-119, 2001.
- MACHADO, P. L. O. A.; SILVA, C. A. Soil management under no-tillage systems in the tropics with special reference to Brazil. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 61, p. 119-130, 2001.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.
- MARWAHA, B. C. Rock phosphate holds the key to productivity in acid soils: a review. **Fertilizer News**, New Delhi, v. 34, n. 3, p. 23-29, 1989.
- MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: EMBRAPA, 2009. p. 191-233.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Relação cálcio e magnésio na fertilidade de um Latossolo Vermelho Escuro distrófico cultivado com alfafa. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 786-794, jul./ago. 2005.

- MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; MORAES, L. A. C. Eficiência de fontes e doses de fósforo na alfafa e centrosema cultivadas em Latossolo Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1459-1466, out. 2002.
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A. J. (Ed.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189-253.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV/DPS, 1999. 399 p.
- NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. et al. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 471-550.
- NÚÑES, J. E. V. et al. Conseqüências de diferentes sistemas de preparo do solo sobre distribuição química e perdas de fósforo de um Argissolo. **Bragantia**, Campinas, v. 62, p. 101-109, 2003.
- OLIVEIRA JUNIOR, A.; PROCHNOW, L. I.; KLEPKER, D. Eficiência agronômica de fosfato natural reativo na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 43, n. 5, p. 623-631, maio 2008.
- ONO, F. B. et al. Eficiência agronômica de superfosfato triplo e fosfato natural de Arad em cultivos sucessivos de soja e milho. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 727-734, maio/jun. 2009.
- PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo: decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 911-920, maio/jun. 2008.
- PRADO, R. M.; VALE, D. W.; ROMUALDO, L. M. Fósforo na nutrição de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 3, p. 493-498, 2005.
- PROCHNOW, L. I.; ALCARDE, J. C.; CHIEN, S. H. Eficiência agronômica dos fosfatos totalmente acidulados. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 605-651.
- RAMOS, L. A. et al. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, set./out. 2006.
- RESENDE, A. V. et al. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da Região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 3, p. 453-466, maio/jun. 2006.
- ROSSETTO, R.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C. Problemas nutricionais dos solos nas novas fronteiras canavieiras. **Revista Idea News**, Ribeirão Preto, v. 8, p. 78-90, 2008.
- ROSSI, C. et al. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 1, p. 39-46, 1999.
- SILVA, F. N. et al. Crescimento e produção de grãos da soja sob diferentes doses e fontes de fósforo em solos distintos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1220-1227, set./out. 2009.
- SILVA, I. R. et al. Protective effect of divalent cations against aluminum toxicity in soybean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2061-2071, set./out. 2008.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.
- WHALEN, J. K.; CHANG, C. Phosphorus sorption capacities of calcareous soils receiving cattle manure applications for 25 years. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 33, p. 1011-1026, 2002.