

SILÍCIO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO NO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE CAFÉ

Luiz Henrique Campos de Almeida¹, Pedro Henrique Klein², Eli Carlos de Oliveira³, Edison Miglioranza³

¹ Doutorando em agronomia na Universidade Estadual de Londrina (PR). E-mail: caluizhenrique@msn.com

² Graduando em Agronomia na Universidade Estadual de Londrina (PR).

³ Professor Doutor do Departamento de Agronomia na Universidade Estadual de Londrina (PR).

RESUMO: A disponibilidade de fósforo é essencial no crescimento e desenvolvimento de mudas de café, se tornando importante a contribuição do uso do silício combinado com uma adubação fosfatada. O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência da aplicação de silício sobre a disponibilidade de fósforo no crescimento e no desenvolvimento de mudas de café (*Coffea arabica* L cv. IPR 98). O experimento foi conduzido entre maio a agosto de 2013 utilizando vasos em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com quatro repetições em esquema fatorial 2x4, em que os fatores foram duas doses de silício e quatro doses de fósforo (0; 0,33; 0,66; e 1 g P₂O₅ dm⁻³). Foram avaliadas as variáveis: comprimento da raiz; altura da planta; diâmetro do caule; número de entrenós; peso da raiz, caule e folha e teor de fósforo no solo e no tecido foliar. Os dados foram submetidos à análise de variância e suas médias ajustadas a equações de regressão polinomial. A adubação com silício aumentou significativamente a quantidade de fósforo (P) disponível no solo e nos tecidos vegetais das mudas.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L. Nutrição do cafeeiro. Adubação do café. Adubação com silicato.

SILICON AND PHOSPHORUS AVAILABILITY IN THE GROWTH OF THE COFFEE SEEDLINGS

ABSTRACT: The availability of phosphorus is essential in the growth and development of coffee seedlings, making the contribution of the use of silicon combined with phosphate fertilization important. The objective of this study was to evaluate the influence of silicon application on the availability of phosphorus in the growth and development of coffee seedlings (*Coffea arabica* L. cv. IPR 98). The experiment was conducted between May and August 2013 using pots under greenhouse conditions. The experimental design was completely randomized with four replicates in a 2x4 factorial scheme, in which the factors were two doses of silicon and four doses of phosphorus (0, 0.33, 0.66, and 1 g P₂O₅ dm⁻³). The following variables were evaluated: root length; Plant height; Stem diameter; Number of internodes; Weight of root, stem and leaf and phosphorus content in soil and leaf tissue. Data were submitted to analysis of variance and their means adjusted to polynomial regression equations. Fertilization with silicon significantly increased the amount of

phosphorus (P) available in the soil and plant tissues of the seedlings.

Key words: *Coffea arabica* L. Nutrition of coffee. Fertilization of coffee. Silicate fertilization.

INTRODUÇÃO

Para a implantação de um cafezal exige-se mudas desenvolvidas, sadias, e homogêneas cujo plantio de forma correta e tratos culturais adequados, contribuem para o seu melhor crescimento e desenvolvimento. Dentre vários fatores de interferência, a fertilidade do solo é um dos principais, devendo ser equilibrada para fornecimento adequado e balanceado de nutrientes para mudas recém plantadas (MARANA *et al.*, 2008).

No Brasil, boa parte dos solos apresentam baixa fertilidade, tendo baixo teor de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de elevada acidez com quantidades acima do ideal de alumínio e ferro, os quais se mostram responsáveis pela adsorção de fosfatos, tornando o fosforo praticamente indisponível (NOVAIS; SMYTH, 2007).

O fósforo é um elemento essencial, sendo responsável por diversas funções na planta, fazendo parte da estrutura de compostos das células vegetais, promotor do crescimento prematuro de raízes além de melhorar a eficiência das plantas na absorção de água, cujas interferências contribuem para o melhor estabelecimento de mudas de café no campo (FAQUINI, 2005; CORREA *et al.*, 2007; DATNOFF *et al.*, 2007; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A utilização dos silicatos pode ser uma alternativa para melhorar a disponibilidade de fósforo nos solos, pelo fato que tanto fosfato quanto silicato são adsorvidos pelos óxidos de ferro e de alumínio da fração argila, podendo assim competir entre si pelos mesmos sítios de adsorção com o silicato podendo deslocar fosfato previamente adsorvido (LEITE, 1997; PRADO; FERNANDES, 2001).

Desta forma, a aplicação do silicato pode resultar em aumento na disponibilidade de fósforo no solo, cujo trabalho objetivou estudar a influência da aplicação de silício com fosfato sobre a disponibilidade de fósforo para o crescimento e desenvolvimento de mudas de café (cv. IPR 98).

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando 32 vasos de quatro litros, preenchidos com três litros de solo de camada superficial (0-20cm de profundidade) de um Latossolo Vermelho Distroférrico, localizada na latitude - 23° 19', longitude - 51° 11' e altitude de 585m.

Após a coleta do solo, foi realizada a análise química, apresentando os seguintes resultados: pH = 6,2; pH SMP = 6,7; $H^+ + Al^{+3} = 2,95 \text{ cmolc dm}^{-3}$; matéria orgânica = 36,18

g dm^{-3} ; $\text{K}^+ = 0,5195 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{P mehlich} = 11,427 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{+2} = 2,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{+2} = 7,6 \text{ cmolc dm}^{-3}$ e $\text{Al}^{+3} = 0 \text{ cmolc dm}^{-3}$.

Utilizou-se no experimento o delineamento inteiramente casualizado (fatorial 2x4) resultando em oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos por vasos consistiram em: TRAT 1- testemunha (sem Alg. Síl e sem P_2O_5); TRAT 2- 1g P_2O_5 ; TRAT 3- 2g P_2O_5 ; TRAT 4- 3g P_2O_5 ; TRAT 5- 1,5g de Alg. Síl; TRAT 6- 1,5g de Alg. Síl + 1g P_2O_5 ; TRAT 7- 1,5g de Alg. Síl + 2g P_2O_5 e TRAT 8 1,5g de Alg. Síl + 3g P_2O_5 .

Foram utilizados Superfosfato Simples (18% de P_2O_5) como fonte de fosforo e Alg. Sil® como fonte de silício. O produto é derivado de rochas marinhas, o qual recebe um tratamento térmico para retirar impurezas, concentrar e ativar o silício encontrado no mesmo. A composição química do produto é de 94,6% de SiO_2 ; 3,38% de Al_2O_3 ; 0,21% de TiO_2 ; 0,23% de Fe_2O ; 0,42% de CaO ; 0,44 de MgO ; 0,18 de Na_2O ; 0,11% de K_2O ; 0,01% de MnO e 0,01% de P_2O_5 .

Seis meses após, foram aplicados aos tratamentos 5, 6, 7 e 8 contendo as doses de 1,5 g de Alg. Síl por vaso de maneira homogênea. Após sua incorporação, o mesmo ficou reagindo com solo dos vasos por 30 dias, sendo irrigado toda semana até sua capacidade de campo, antes do transplântio das mudas de café.

As mudas de café da cultivar IPR-98 foram transplantadas para os vasos após os 30 dias de reação do produto no substrato. Para determinação da necessidade adubação utilizou-se a análise química de solo, e utilizando as recomendações para o plantio adensado com 8000 plantas por hectare, constatou-se a necessidade de aplicação de 8g de Nitrogênio (N); 3g de P_2O_5 e 3g de K_2O por planta. A quantidade de N foi parcelada em duas vezes, sendo a primeira no transplântio e à segunda aos 30 dias após a primeira, com uma formulação a base de mineral misto que continha 32% de N, correspondendo a duas aplicações de 12,5g de N do formulado por planta. Aplicou-se em uma dose Cloreto de Potássio (60% de K_2O) em cada planta. Para correção do solo com fósforo, utilizou-se o Superfosfato Simples (18% de P_2O_5), com dosagens 0g; 5,5g; 11,1g e 16,6g conforme o tratamento. Os adubos foram incorporados homogeneamente no solo antes do transplântio das mudas.

Após as mudas serem transplantadas, aplicou-se o ingrediente ativo abamectina (Vertimec 18 EC®), com dosagem de 2g L^{-1} de calda pois as mesmas apresentavam em suas folhas a presença de bicho-mineiro (*Leucoptera coffeella* Guérin-Méneville). Aplicou-se também o ingrediente ativo epoxiconazol + piraclostrobina (Opera®) na dosagem de 3 mL L^{-1} de calda combinado com óleo mineral (Assist®) na dosagem de 10mL L^{-1} de calda devido ao fato de as mudas apresentarem a presença de Cercosporiose (*Cercospora coffeicola* Berk. e Cooke). As mudas foram conduzidas na casa de vegetação por 101 dias as quais eram irrigadas uma vez por semana, até a umidade do substrato atingir a capacidade de campo.

Após 101 dias as mudas foram removidas e analisadas suas características: comprimento de raiz na transição do caule para raiz até sua ponta esticada e altura de planta da região de transição do caule para raiz até o meristema apical através da utilização de fita métrica; diâmetro do caule medido na altura do colo da planta com a utilização de um paquímetro; número de entrenós contados da transição do caule para raiz até o meristema apical e peso de raiz, caule e folhas após secagem em estufa com circulação de ar forçada, a 60°C, por 72 horas. Após a pesagem das folhas, as mesmas foram trituradas e analisadas para teor de fósforo utilizando todas as folhas das mudas. O solo foi seco por 72 horas ao ar, peneirado e analisado para teor de fósforo pelo método Mehlich⁻¹.

Os dados foram submetidos à análise de variância e nos casos em que o valor de F da análise de variância apresentou-se significativo, utilizou-se o teste T de Student para avaliação de diferenças entre médias com e sem a presença de silício. Para os efeitos das diferentes concentrações de P₂O₅ os resultados foram analisados por meio da análise de regressão polinomial, considerando-se apenas as equações significativas pelo teste F ($p \leq 0,05$) (PIMENTEL GOMES; GARCIA, 2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presença de Si no solo e sua absorção influenciou no desenvolvimento da muda de café, cuja aplicação tem uma relação direta com o teor de fósforo no solo disponível para as plantas e o teor de fósforo nas folhas da muda. A aplicação do adubo fosfatado mostrou-se mais eficaz se combinada com a adubação silicatada, o que corrobora com os resultados verificados por Prado e Fernandes (2001).

A interação entre as variáveis dose de silício e dose de fósforo mostrou-se significativa para o teor de P no solo disponível para a planta a 1% de probabilidade. Verificou-se que a aplicação de Superfosfato Simples posteriormente a de Alg. Síl ocasionou um aumento na quantidade de fósforo no solo disponível para a muda e um aumento no teor de P no tecido foliar se comparado a apenas a aplicação de uma fonte de P (Tabela 2). O aumento do fósforo disponível no solo se deve ao bloqueio dos sítios de adsorção de fósforo pelo silício, além de deslocar o P adsorvido nos colóides do solo para a solução (LOPES, 2003). Isso faz com que fósforo aplicado via adubação seja mais facilmente absorvido pela planta, o que aumenta seus níveis nos tecidos vegetais.

As mudas apresentaram respostas significativas à adubação fosfatada em diversas variáveis como comprimento da raiz, diâmetro do caule, peso do caule ($p \leq 0,05$), e altura da planta; peso da raiz; peso das folhas e teor de P no solo ($p \leq 0,01$).

Para número de entrenós não houve diferenças significativas. O mesmo foi observado no teor de P no tecido, talvez pelo fato da planta ter uma faixa ideal de absorção de P, sendo que a planta responde a certo incremento na disponibilidade, mas após um certo teor de P no solo, deixa de apresentar resposta. A utilização do silício proporcionou aumento na absorção de P, visto que o tecido teve aumento significativo no teor de P (Tabela 2), sendo esse

incremento já demonstrado em trabalhos de Carvalho (1999).

Tabela 1. Resumo da análise de variância conjunta com os quadrados médios para o efeito do silício sobre o comprimento de raiz, altura e diâmetro de plantas, número de entrenós, peso de raiz, caule e folhas e teores de fósforo no solo e folhas. Londrina – PR, 2015.

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios			
		Comprimento	Altura de planta cm	Diâmetro do caule	Número de entrenós
Silício	1	8,57 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Tratamentos	3	37,70*	31,88*	0,08*	0,203 ^{ns}
Silício*Tratamentos	3	8,54 ^{ns}	4,21 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,541 ^{ns}
Resíduo	24	10,09	4,85	0,02	0,81
CV(%)		14,95	5,81	10,39	9,10

Fonte de variação	GL	Quadrados Médios				
		Peso raiz	Peso caule	Peso folhas	Teor de P no solo	Teor de P nas folhas
		G			(mg dm ⁻³)	
Silício	1	0,02 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,10 ^{ns}	6872,93*	2,00**
Tratamentos	3	1,31**	2,35*	9,76*	31925,11**	0,07 ^{ns}
Silício*Tratamentos	3	0,20 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,67 ^{ns}	6438,63**	0,09 ^{ns}
Resíduo	24	0,24	0,67	0,73	1186,09	0,04
CV(%)		35,69	33,05	23,72	40,86	15,17

** , * significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F. ^{ns}Não significativo.

Tabela 2. Teores médios de fósforo (P) no solo em função das doses de Si. Londrina – PR, 2015.

Tratamento	P disponível ¹ (mg dm ⁻³)	P no tecido (g Kg ⁻¹)
Com Si	99,88 a *	1,62 a
Sem Si	70,52 b	1,11 b

¹P-Mehlich; *Médias seguidas da mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste T de Student, 5% de probabilidade.

A aplicação de Si contribuiu para o acúmulo de matéria seca, onde raiz, caule e folhas apresentaram maior massa (Figura 1B, 1C e 1D). Isso implica que a disponibilidade de fósforo é importante fator de crescimento das mudas de café.

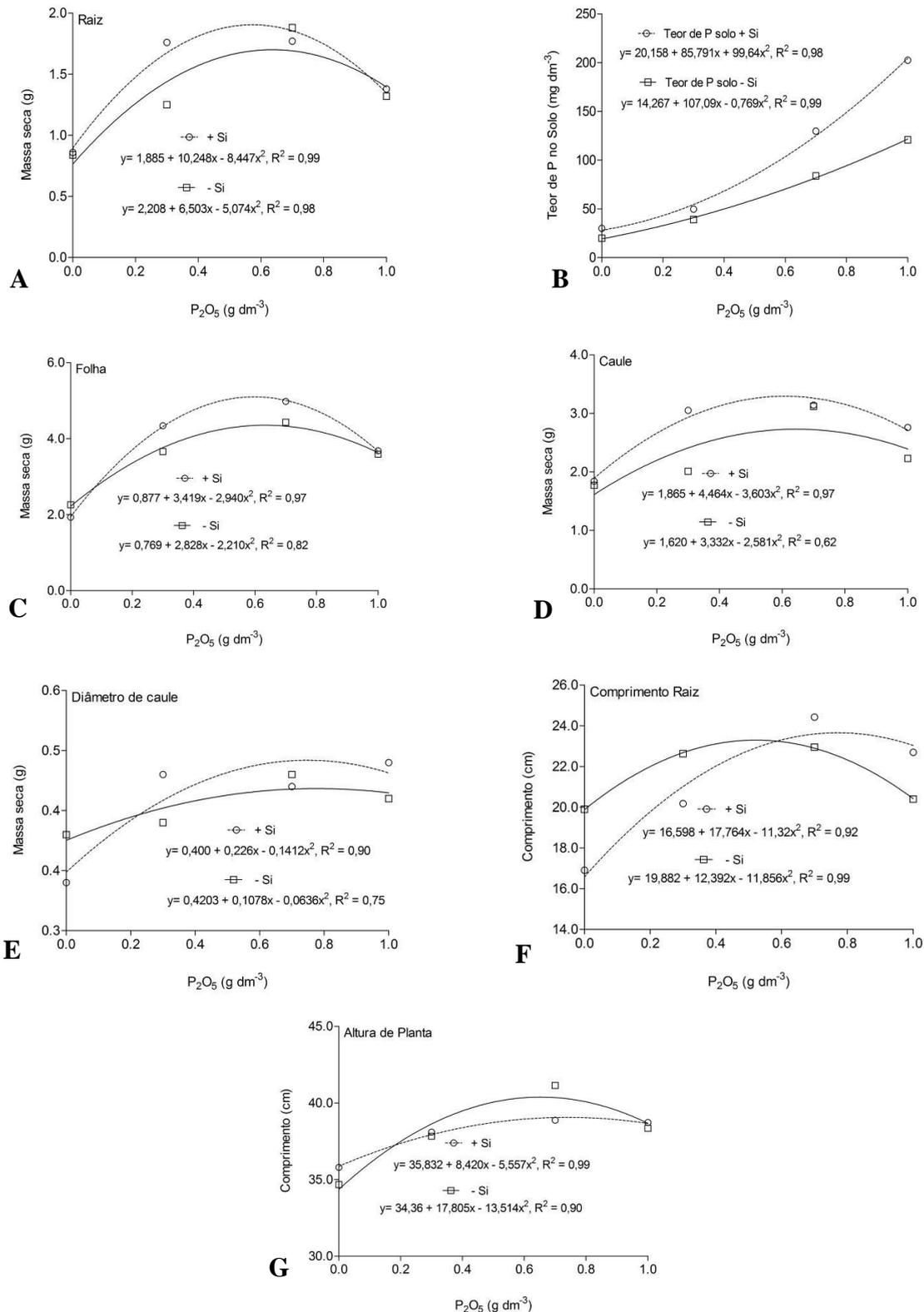


Figura 1. A. Teor de P no solo, **B.** Peso de raiz (g), **C.** Peso do caule (g), **D.** Peso das folhas (g), **E.** diâmetro do caule (g), **F.** diâmetro do caule (g), **G.** comprimento de raiz (cm), **F.** Altura de planta (cm) para os tratamentos com e sem Si de acordo com aumento das dosagens de P_2O_5 . Londrina – PR, 2015.

O P promove a formação e crescimento de raízes (FAQUINI, 2005), assim como em menores quantidades retarda o crescimento da planta (HINSINGER, 2001; PREZZOTTI; ROCHA, 2004; TAIZ; ZEIGER, 2009). Sua disponibilidade também afeta o diâmetro do caule, fator importante no desenvolvimento inicial de mudas de café, sendo que os tratamentos com silício nas doses de P_2O_5 em $0,33 \text{ g dm}^{-3}$; $0,66 \text{ g dm}^{-3}$ e 1 g dm^{-3} obtiveram maiores médias se comparados aos tratamentos sem silício (Figura 1E), sendo esse maior acúmulo de matéria seca através da interação silício-fósforo já constatado por Fortes (1993) trabalhando com escória de altos-fornos de siderúrgicas.

Observou-se que ocorreu menor aumento na altura de planta nos tratamentos com silício (Figura 1G), devido aos tratamentos com silício aumentarem a disponibilidade de fosforo e assim diminuir a disponibilidade de outros nutrientes onde os fosfatos podem reduzir a solubilidade do zinco, pela formação de fosfatos de zinco no solo, e induzir a deficiência de ferro, pela redução de sua mobilidade na planta (DECHEN; NACHTIGAL 2006).

As raízes apresentaram maior comprimento sob efeito dos tratamentos com $1,5 \text{ g}$ de Alg. Síl e $0,66 \text{ g dm}^{-3}$ de P_2O_5 . Verificou-se que para o ponto máximo na curva de características avaliadas das mudas que apresentaram diferença estatística, os tratamentos com silício apresentaram maior estimativa em características importantes de crescimento da muda, como o diâmetro do caule e peso de raiz, caule e folhas se comparados aos tratamentos sem silício (Tabela 3). Tais características necessitaram de uma menor dosagem de P_2O_5 para crescimento, sendo assim os tratamentos com silício não só influenciaram num maior crescimento da muda, mas também na redução da necessidade de fósforo.

Tabela 3. Doses de P_2O_5 que proporcionam a máximo valor para variáveis de crescimento das mudas analisadas. Londrina – PR, 2015.

Características	Dose* com Si	Estimativa com Si	Dose* sem Si	Estimativa sem Si
Comprimento da raiz (cm)	0,784	23,564	0,522	23,120
Altura da planta (cm)	0,757	39,021	0,658	40,224
Diâmetro do caule (cm)	0,800	0,490	0,847	0,465
Peso da raiz (g)	0,581	1,866	0,639	1,674
Peso do caule (g)	0,619	3,251	0,645	2,695
Peso das folhas (g)	0,606	4,993	0,640	4,292

*Dose em g dm^{-3} .

CONCLUSÃO

A adubação com silício antes da adubação fosfata aumenta a disponibilidade de fósforo no solo. O fósforo promove maior desenvolvimento das características importantes para o estabelecimento e crescimento inicial de mudas de cafeeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, R. **Interações silício-fósforo em latossolo vermelho-escuro e cambissolo cultivados com mudas de eucalipto**. 1999. 89 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1999.

CORREA, J. B.; REIS, T. H. P.; POZZA, A. A. A.; GUIMARÃES, P. T. G.; CARVALHO, J. G. Índice de saturação por bases na nutrição e na produtividade de cafeeiros ‘CATUAÍ VERMELHO’ (*Coffea arabica* L.). **Coffe Science**, Lavras, v. 2, n. 2, p.159-167, 2007.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes, In: FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo SBCS/UFV, 2006. cap. 13, p. 327-354.

DATNOFF, L. E.; RODRIGUES, F. A.; SEEBOLD, K. W. Silicon and Plant Nutrition. In: DATNOFF, L. E., ELMER, W. H., HUBER, D. M. **Mineral nutrition and plant disease**. Saint Paul, MN: APS Press, 2007. p. 233-246.

FAQUINI, V. **Nutrição de plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2005. 183 p.

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. 1993. 66 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and soil**, The Hague, v. 237, n. 1, p.173- 195, 2001.

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. 1997. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. P. **Vocação da terra**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2003. 23 p.

MARANA, J. P.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, E. P.; KAINUMA, R. H. Índices de qualidade e crescimento de mudas de café produzidas em tubetes. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 1, p.39-45, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 8, p. 471-550.

PIMENTEL GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 9, p.1199-1204, 2001.

Cultura Agrônômica, Ilha Solteira, v.26, n.2, p.123-131, 2017

PREZZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p.239-251, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.