

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FONTES CONTENDO SILÍCIO AVALIADO ATRAVÉS DE MÉTODO BIOLÓGICO

Douglas da Silva Santos¹, Gaspar Henrique Korndörfer², Ana Paula dos Santos¹,
Juliana Cristina da Silva¹

¹ Pós-graduandos em Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia
(dougysant@ig.com.br)

² Professor, Doutor, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de
Uberlândia, UFU, Uberlândia, MG.

RESUMO

Com o objetivo de estudar a eficiência agronômica, de duas fontes de Si, quanto à capacidade das plantas em absorver e acumular nutrientes provenientes da aplicação dos produtos foi conduzido um experimento em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico (LVd) em casa-de-vegetação, com delineamento de blocos casualizados com quatro repetições. O ensaio foi composto por doses crescentes de Wollastonita (0, 200, 400, 600 e 800 Kg ha⁻¹ de Si) para estabelecimento de uma curva padrão e para avaliação da reatividade das fontes de Si foram utilizados dois produtos fornecidos pela empresa Íneos Sílica, nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. Para as variáveis, massa seca da parte aérea e massa de grãos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos. A Wollastonita foi a fonte que proporcionou os maiores valores para os teores de Si nas folhas e no solo quando comparada às demais. Para os valores de pH do solo, Ca e Mg trocáveis não se observou diferenças entre as fontes de Si. As fontes Fertilisilício Máster e Fertilisilício Aditivado apresentaram bons índices de eficiência agronômica. Ao analisar a aplicação Wollastonita temos um aumento da disponibilidade de Si, no solo e na parte aérea, e na produção de grãos e de matéria seca das plantas de arroz. Portanto as fontes em estudo apresentaram boas características agronômicas para uso como fertilizantes silicatados.

PALAVRAS-CHAVE: Silício, *Oryza sativa* L., Fertilizante.

AGRONOMIC EFFICIENCY OF SOURCES CONTAINING SILICON EVALUATED THROUGH BIOLOGICAL METHOD

ABSTRACT

Aiming to agronomic efficiency to study, two sources on the ability of plants to absorb and accumulate nutrients from the application of the products was conducted an experiment in oxisol soil at Greenhouse, with delineation of blocks with four repetitions. The test was composed by increasing doses Wollastonita (0, 200, 400, 600 and 800 Kg ha⁻¹ Si) to establish a standard curve and for evaluation of reactivity of Si sources were used two products provided by company Íneos silica, in doses of

200 and 400 kg ha⁻¹. For the variables, the dry mass of the aboveground and grain mass, there were no significant differences between treatments. The Wollastonita was the source that provided the greatest values for contents of Si in the leaves and soil when compared to the other. Sources Fertilizante master and Fertilizante master aditivado Compounded showed good agronomic efficiency indices. When analyzing the application Wollastonita have an increased availability of Si, soil and, leaves, in grain production and dry matter content of rice plants. Therefore the sources on study showed good agronomic characteristics for use as fertilizer silicates.

KEYWORDS: Silicon, *Oryza sativa* L., fertilization.

INTRODUÇÃO

Dentre os cereais de grande importância econômica e social a nível mundial podemos destacar o arroz (*Oryza sativa* L.). No Brasil estima-se que a produção total para a safra 2009/10 seja em média de 4.101 kg ha⁻¹ para uma área cultivada de 2.769,4 mil hectares. É importante ressaltar que essa produção representa uma redução de 5,3% em relação a produção na safra 2008/09, que foi de 4.332 kg ha⁻¹ e essa diminuição deve-se principalmente aos problemas climáticos ocorridos no Rio Grande do Sul e na região Nordeste (CONAB, 2010).

O Si é essencial para a alta produtividade do arroz. Mas o mecanismo molecular responsável pela sua absorção ainda é desconhecido. Ma e colaboradores (2006) descrevem o gene 1 (*lsi1*) que controla a acumulação de Si em arroz, uma planta acumuladora desse elemento. Este gene está localizado sobre a membrana plasmática e a supressão desse gene resultou em redução da absorção de Si. Além disso, na expressão do *Lsi1*, mostrou atividade de transporte de Si. A identificação de um transportador de Si fornece tanto uma visão sobre o sistema de captação de silício nas plantas, e uma nova estratégia para a produção de culturas de elevada resistência e salienta a modificação genética da raiz da capacidade de absorção de Si.

Vários autores demonstraram o efeito benéfico do Si para a cultura do arroz, aumentando o rendimento desta cultura, por diminuir os efeitos tóxicos do Fe e Mn, e ainda disponibilizar P devido a liberação do mesmo a partir dos fosfatos de Fe (JONES; HANDRECK, 1967; MA; TAKAHASHI, 1990a, 1990b, 1991). O Si também está relacionado com a reação do arroz a várias e importantes doenças, tais como a brusone, causada por *Pyricularia grisea*.

Korndörfer et al. (2004) destaca os silicatos de cálcio e magnésio, dentre as fontes de silício, e estes são constituídos basicamente de CaSiO₃ e MgSiO₃. Entre os efeitos benéficos dos silicatos está a correção da acidez do solo, o fornecimento de cálcio e magnésio, além da disponibilização de silício para os vegetais.

Uma fonte de silício deve ser avaliada agronomicamente a partir da resposta da planta ao absorver e acumular o nutriente. Dessa forma, objetivou-se avaliar a eficiência agrônômica, de duas fontes de Si, quantificar a capacidade das plantas em absorver e acumular nutrientes provenientes da aplicação dos produtos.

METODOLOGIA

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, em Uberlândia-MG. O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso, com oito tratamentos e

quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída de um vaso plástico contendo 8,0 Kg de terra e oito plantas de arroz. Utilizou-se um LATOSSOLO Vermelho Distrófico típico, cujos atributos químicos e físicos se encontram na Tabela 1 e na Tabela 2, respectivamente.

TABELA 1 - Caracterização química da amostra de terra do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico (LVd).

pH	P me ^{h-1}	Si	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	t	T	V	m	M.O.
	---mg dm ⁻³ ---				cmol _c dm ⁻³				----- % -----		g kg ⁻¹
4,40	2,00	6,60	0,70	0,20	0,00	0,26	0,96	7,30	7,00	73,00	40,00

Pme^{h-1} e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO 4 0,025 N); Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Si - Extrator CaCl₂ (Korndorfer, 2004).

TABELA 2 - Caracterização Textural da amostra de terra do LATOSSOLO VERMELHO Distrófico Típico (LVd).

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- g. kg ⁻¹ -----			
90	43	33	834

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997)

O ensaio foi composto por doses crescentes de Wollastonita, a qual é considerada fonte-padrão em estudos com Si e que apresenta alto grau de pureza, rico em CaSiO₃, nas seguintes doses: 0, 200, 400, 600 e 800 Kg ha⁻¹ de Si e para avaliação da reatividade das fontes de Si foram utilizados dois produtos fornecidos pela empresa Íneos Sílica, nas doses de 200 e 400 kg ha⁻¹ de Si. As doses de silício aplicadas em cada tratamento são apresentadas na Tabela 3. As doses dos materiais foram definidas em função da capacidade de fornecimento de Si pelas fontes, sendo caracterizadas quanto aos teores de silício total e solúvel conforme Korndörfer et al. (2004) e CaO e MgO de acordo com Embrapa (1997) conforme descrito na Tabela 4.

TABELA 3 - Doses de silício aplicados em cada tratamento.

Tratamento	Dose de Si	Si total em cada produto	Dose do produto	Dose do produto
	Kg ha ⁻¹	%	Kg ha ⁻¹	G por 8 kg de solo
Testemunha	0	0	0	0
Wollastonita	200	21	952,38	3,81
Wollastonita	400	21	1904,76	7,62
Wollastonita	600	21	2857,14	11,43
Wollastonita	800	21	3809,52	15,24
Fertilísio Máster	200	17,8	1119,52	4,48
Fertilísio Máster	400	17,8	2239,64	8,96

Fertilísício M. Aditivado	200	15,8	1265,82	5,06
Fertilísício M. Aditivado	400	15,8	2531,62	10,13

TABELA 4 - Caracterização das fontes de Si empregadas no experimento.

Fontes	Tipo de Material	Si TOTAL* %	Si Solúvel** %	CaO %	MgO %
Wollastonita	Pó	21,00	4,60	42,90	1,90
Fertilísício Máster	Pó	17,80	2,60	3,90	6,05
Fertilísício Máster Aditivado	Pó	15,80	3,60	24,53	13,46

Siício total em ácido fluorídrico concentrado ** Siício solúvel extraído após cinco dias em contato com o extrator (carbonato de sódio + nitrato de amônio - $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{NO}_3\text{NH}_4$).

Os nutrientes associados às fontes foram integralmente balanceados de tal forma que as parcelas receberam quantidades iguais de cálcio e magnésio, além dos macronutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P_2O_5) aplicados na dose de 200 mg kg^{-1} de solo (Sulfato de Amônio e Superfosfato Simples respectivamente) e potássio (K_2O) na dose de 300 mg kg^{-1} de solo (Cloreto de Potássio - KCl). Os micronutrientes foram aplicados na dose de $0,1 \text{ g kg}^{-1}$ de solo usando como fonte o produto FTE - BR12 contendo: 9% Zn; 1,8% B; 2% Mn; 0,8% Cu; 0,1% Mo e 3% Fe.

Para condução do experimento, os tratamentos foram aplicados em vasos contendo oito kg de solo seco, que foi umedecido com 70% da capacidade de campo e incubado por um período de 20 dias. Foram semeadas 20 sementes da cultivar Fanny por vaso. Depois de desenvolvida a terceira folha de cada planta realizou o desbaste, deixando seis plantas por vaso e em seguida foi realizada a inundação do arroz, utilizando uma lâmina de água de aproximadamente quatro cm.

Aos 60 dias após a emergência das plantas foram coletadas folhas de cada parcela para avaliação dos teores de Si. Em seguida as plantas foram secas em estufa à 65°C , para obtenção da massa seca de parte aérea. E os grãos foram retirados de cada panícula e pesados aos 180 dias após a emergência. A biomassa foi avaliada quanto à produção de matéria seca da parte aérea e produção de grãos por oito plantas de arroz. Realizou-se a análise dos teores de Si na parte aérea segundo método descrito por Korndörfer et al. (2004). O Si acumulado foi quantificado através da produção de massa seca e quantificado pela concentração foliar de Si. Coletou-se amostra de solo de cada vaso para análise do teor de Si solúvel conforme metodologia descrita Korndörfer et al. (2004) e pH em CaCl_2 , Ca^{2+} e Mg^{2+} de acordo com Embrapa (1997).

Os dados obtidos das plantas e do solo foram submetidos ao teste de F a 5% de probabilidade e ao teste de médias (Tukey a 5%). Para verificar o comportamento da Wollastonita, os dados foram submetidos a análise de regressão, com o auxílio do programa SISVAR (FERREIRA, 2000).

O Índice de Eficiência Agronômica (I.E.A.) das fontes foi calculado levando-se em consideração os teores de massa de grãos no arroz, utilizando a seguinte fórmula:

$$(I.E.A. \%) = \frac{\text{Massa de grão da fonte} - \text{Massa de grão da testemunha} \times 100}{\text{Massa de grão do padrão} - \text{Massa de grão testemunha}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis, massa seca da parte aérea e massa de grãos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5). Vários trabalhos demonstram a Wollastonita como fonte padrão de Si para testes comparativos com outras fontes e que para a cultura do arroz aumentos significativos de produção são proporcionados quando se utiliza fontes contendo Si (KORNDORFER et al., 1999), sendo esse nutriente considerado essencial para a mesma segundo critérios de essencialidade propostos por Epstein & Bloom (2006).

Estes resultados concordam com Pereira et al. (2004), os quais não observaram diferença significativa entre os tratamentos onde foi aplicada 125 Kg ha⁻¹ de Si na forma de silicato de cálcio, na produção de matéria seca de plantas de arroz inundado.

Com relação à produção de grãos, os resultados obtidos concordam com os encontrados por Faria (2000), o qual ao estudar o efeito da aplicação de doses crescente de silicato de cálcio em arroz de sequeiro, observou que a produção de grãos aumentou à medida que aumentava a dose de Si. Korndörfer et al. (1999), Deren et al. (1994), Liang et al. (1994) e Santos (2007), também observaram o aumento de produção de grãos quando plantas de arroz inundando foram adubadas com fontes contendo Si, tais resultados reforçam ainda a importância de utilizar adubos silicatados na cultura do arroz.

Houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de Si nas folhas (aos 60 dias), Si na parte aérea das plantas de arroz e Si acumulado (Tabela 4). A Wollastonita foi a fonte que proporcionou os maiores valores para os teores de Si nos três casos, embora esta não tenha diferido do tratamento Fertilizante Aditivado para os teores de Si na folha (aos 60 dias) e Si acumulado. Os tratamentos Fertilizante Máster e Fertilizante Aditivado não diferiram entre si em relação ao teor de Si nas folhas (aos 60 dias) e Si acumulado. Braga (2004) observou que, de modo geral o arroz é uma planta capaz de absorver significativa quantidade de Si. Conforme esse autor há uma relação linear e crescente do teor de Si observado na parte aérea da plantas de arroz inundado quando se aplicam doses de uma fonte contendo Si. Ressaltando ainda a observação feita por Ma et al. (2001) os quais afirmam que a absorção de Si pelas plantas de arroz e o acúmulo do mesmo na parte aérea são importantes, pois sua deposição na cutícula poderá interferir na arquitetura, tornando as plantas mais eretas, aumentando a eficiência fotossintética das mesmas.

TABELA 4 - Efeito de diferentes tratamentos sobre crescimento, produção e absorção e acúmulo de Si pelo arroz.

Fontes	Massa de grãos ---- g vaso ⁻¹ ----	Massa seca parte aérea	Si Folha (60 dias) ----- % -----	Si Parte aérea	Si acumulado --- g vaso ⁻¹ ---
Wollastonita	47,32 a	37,00 a	2,48 a	2,81 a	0,99 a
Fertilísio Máster	46,62 a	35,82 a	1,71 b	2,07 b	0,73 b
Fertilísio Aditivado	45,65 a	34,92 a	2,14 ab	2,32 b	0,61 b
C.V. %	8,78	7,59	17,39	5,44	12,28

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey 5% de significância.

As fontes de Si Fertilísio Máster e Fertilísio Aditivado apresentaram bons índices de eficiência agrônômica quando comparadas com a fonte padrão Wollastonita (Tabela 5). O melhor resultado verificado para o Fertilísio Máster seguido do Fertilísio Aditivado.

TABELA 5 - Índice de Eficiência Agrônômica das fontes de Si Fertilísio Máster e Fertilísio Aditivado.

Fonte	Wollastonita	Fertilísio Máster	Fertilísio Aditivado
IEA (%)	100	90	76

Houve diferença entre os tratamentos com relação ao teor de Si no solo, sendo a Wollastonita o melhor tratamento seguido dos demais que não diferiram entre si (Tabela 6). Pode-se afirmar que a Wollastonita apresenta alto efeito residual de Si no solo, uma vez que após o cultivo de arroz, foram observados altos teores desse elemento no solo, resultados semelhantes foram encontrados por Santos (2007) ao avaliar o desenvolvimento de plantas de arroz em um Neossolo do Triângulo Mineiro empregando Wollastonita e calcário.

Em relação aos valores de pH do solo, Ca e Mg trocáveis não se observou diferença entre as fontes de Si, resultado este esperado devido ao balanceamento de bases efetuado antes da semeadura do arroz (Tabela 7). Tal fato é importante, pois assegura que as diferenças entre os tratamentos se devem exclusivamente ao efeito do Si, sem a interferência do pH, Ca e Mg nos resultados. Esta observação está de acordo com Braga (2004) o qual trabalhando com várias fontes de Si também não observou diferenças entre os tratamentos para as variáveis de pH do solo, Ca e Mg trocáveis após ter feito balanceamento, isolando-se, assim os efeitos destes fatores sobre aqueles de interesse no estudo.

TABELA 6 - Teores de Si no solo, conforme diferentes fontes aplicadas.

Fontes	Si solo --- mg kg ⁻¹ ---
Wollastonita	3,22 a
Fertilísio Máster	2,06 b
Fertilísio Aditivado	2,50 b
C.V. %	17,22

*Médias seguidas por letras iguais na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

TABELA 7 - Valores médios de pH, e teores médios de cálcio e magnésio no solo após a colheita do arroz.

pH	Cálcio	Magnésio
	----- cmol _c dm ⁻³ -----	
4,8	2,8	0,1
4,9	2,8	0,1
5,2	3,4	0,2

À medida que aumenta-se as doses de Wollastonita há um acréscimo no teor do solo, sendo que a cada um kg de Si por hectare espera-se um valor de 0,0018 mg dm⁻³ de Si no solo. O mesmo ocorre para o teor de Si acumulado na parte aérea, sendo que o acréscimo esperado a cada um Kg de Si por hectare é de 0,0011 g por vaso. (Figura 1). De acordo com a figura 2 ao se fornecer um kg de Si por hectare o aumento esperado no teor de Si na parte aérea e nas folhas é de 0,0022 e 0,0026%, respectivamente. Quando se analisa a matéria seca e produção de grãos o teor esperado com a aplicação de um kg de Si por hectare é de 0,0085 e 0,01074 g por vaso, respectivamente. Tal resultado pode ser atribuído ao fato de a Wollastonita se constituir em uma fonte de Si e ter fornecido esse elemento para as plantas, o qual teria contribuído para a elevação da produção de matéria seca e de grãos por parte das mesmas. Isso reforça as considerações de Malavolta et al. (1997), Marschner (1995) e Epstein & Bloom (2006), segundo os quais a planta de arroz é uma acumuladora de Si, com respostas em aumento de crescimento e produção quando submetida à aplicação desse elemento.

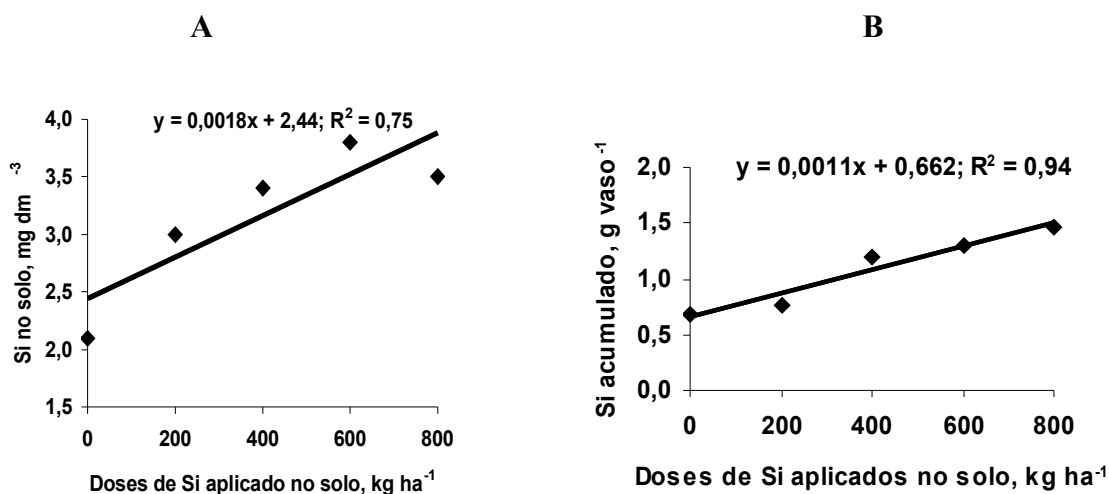


FIGURA 1 - Teores médios de Si no solo (A) e Si acumulado na parte aérea das plantas de arroz (B) sob doses crescentes de Wollastonita.

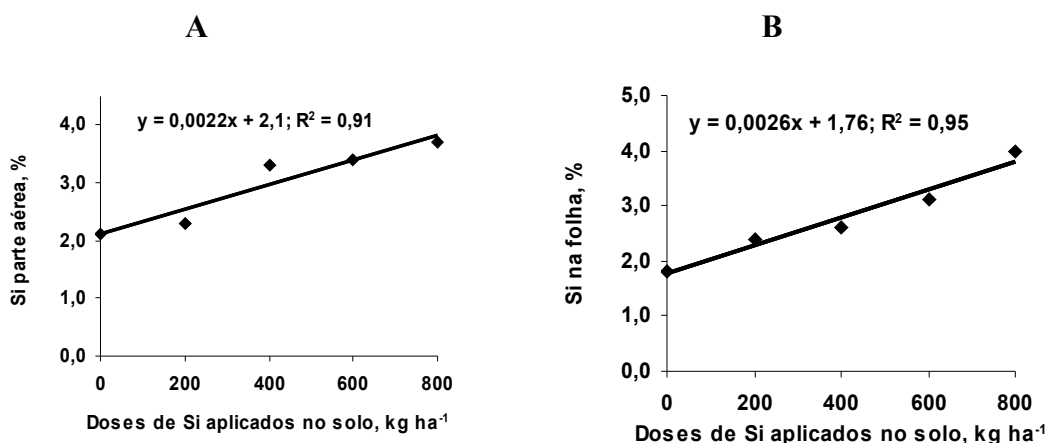


FIGURA 2 - Efeito de doses de Wollastonita sobre os teores na parte aérea das plantas de arroz (A) e folhas aos 60 dias (B).

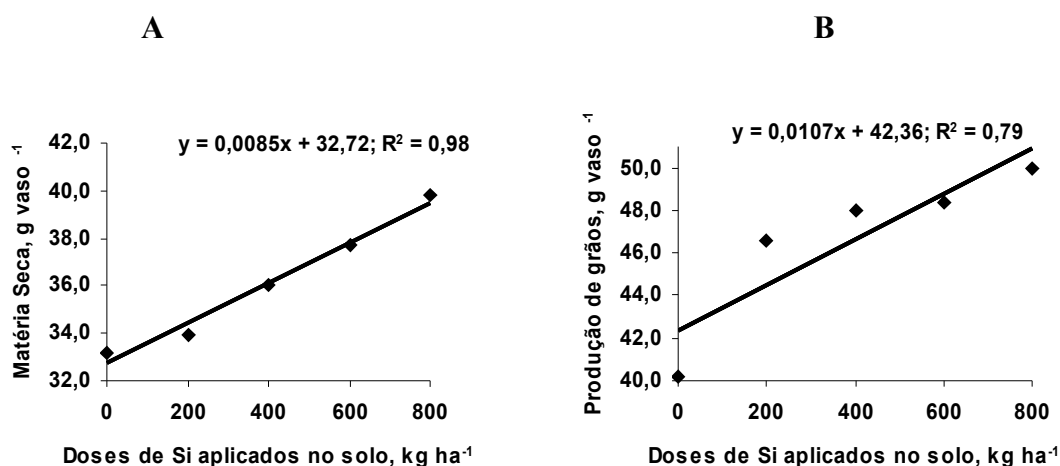


FIGURA 3 - Efeito de doses de Wollastonita sobre a massa seca da parte aérea (A) e de grãos (B).

CONCLUSÕES

As fontes de Si Fertilísio Máster e Fertilísio Máster Aditivado bem como a Wollastonita proporcionaram incrementos nos teores de Si no solo e foram eficientes no fornecimento de Si para as plantas de arroz, aumentando a produção de grãos de arroz. Portanto, as fontes de Si testadas apresentaram boas características agrônômicas para uso como fertilizantes silicatados.

REFERÊNCIAS

- BRAGA, A. M.C. **Eficiência de fontes e doses de fertilizantes contendo silício na adubação do arroz inundado e do sorgo**. 2004. 123f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, 2004.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Safra 2009/10, sétimo levantamento, abril/2010. 2010. 45p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb>>. Acesso em: 15 out. 2010.
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, New York, v.34, p.733-37, 1994.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília: Embrapa-CNPq, 1997. 212p.
- EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e Perspectivas**. 2.ed. Londrina: Planta, 2006. 403p.
- FARIA, R.G. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em solos) Lavras, Universidade Federal de Lavras. 2000.
- FERREIRA, D. F. **Manual do sistema SISVAR para análises estatísticas**. Lavras: UFLA/DEX, 2000. 66p.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Silica in soils, plants and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.19, p.107-149, 1967.
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v.23, p.635-41, 1999.
- KORNDORFER, G. H.; PEREIRA. H.S.; NOLLA. A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante**. Uberlândia: UFU, 2004. 50 p. (Boletim técnico, v.2).
- LIANG, Y.C.; MA, T.S.; LI, F.J; FENG, Y.J. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in calcareous soils. **Communications in Soil Science**, New York, v.25, p.2285-97, 1994.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001, p. 17-39.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth and phosphorus uptake of rice. **Plant and Soil**, Den Haag, v.126, p.115-119, 1990a.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. The effect of silicon acid on rice in a P- deficient soil. **Plant and Soil**, Den Haag, v.126, p.121-125, 1990b.

MA, J.F.; TAKAHASHI, E. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P deficient soil. **Plant and Soil**, Den Haag, v.133, p.151-155, 1991.

MA, J. F., TAMAI, K., YAMAJI, N., MITANI, N., KONISHI, S., KATSUHARA, M., ISHIGURO M., YOSHIKO, M., YANO, M., A silicon transporter in rice. **Nature**, New York v.440, p.688-691, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações**. 2ª ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARSCHNER, H. **Mineral Nutrition of higher plants**. 2ª ed. New York: Academic Press Inc., 1995. 887p.

PEREIRA, H.S.; KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.16, n. 5, p. 522-528, 2004.

SANTOS, D. S. **Avaliação do desenvolvimento do Arroz (*Oryza sativa*) em um Neosolo do triângulo mineiro pela aplicação de doses de calcário e Wollastonita**. 2007. 67-70p. IV simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura, Botucatu, SP, 2007.