



**PUBVET, Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia.**

### **Aplicação de escória siderúrgica: silício no solo e na cana-de-açúcar**

Lúcio Bastos Madeiros<sup>1</sup>, Andreia de Oliveira Vieira<sup>2</sup>, Dorival Pereira Borges da Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Doutor, Professor do IFMA, Campus São Luis – Maracanã  
e-mail: lucioagron@gmail.com

<sup>2</sup> Mestranda, Eng<sup>a</sup> agrônoma, IFMT- Campus Campo Novo do Parecis.  
e-mail: andreiaagronomia@hotmail.com

<sup>3</sup> Doutor, Professor do IFMT-Campus Campo Novo do Parecis.  
e-mail: dorival.costa@cnp.ifmt.edu.br

#### **Resumo**

Os efeitos benéficos da adubação com escória siderúrgica vêm sendo pesquisados em diversas espécies, dentre elas, a cana-de-açúcar. Como Brasil é um grande produtor desse resíduo e que se descartado incorretamente pode vir a contaminar solos e águas, uma das alternativas encontradas para solucionar este problema é estar utilizando este resíduo na agropecuária, visto que tem sido demonstrado que a utilização de escória siderúrgica influencia positivamente as concentrações de nutrientes e silício no solo e na cultura da cana-de-açúcar. O elevado teor sacarose na planta madura, justamente numa época do ano em que as pastagens são escassas e deficientes em proteína e energia, faz da cana uma importante fonte energética para bovinos durante o período seco.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp*, adubação, silício

## **Silicon in the sugar cane: steel slag used in soil**

### **Abstract**

The beneficial effects of the fertilization with silicon have been researched in several species, among them the sugarcane. As Brazil is a great producer of waste and that if improperly discarded might contaminate soils and waters, one of the alternatives found to solve this problem is to be using this waste in agriculture, as has been demonstrated that the use of steel slag positively influences nutrient concentrations and silicon in soil and crop cane sugar. The high sucrose content in mature plant, just at a time of year when the pastures are scarce and deficient in protein and energy, makes sugarcane an important energy source for cattle during the dry season.

**Keyword:** *Saccharum spp*, fertilization, silicon

### **INTRODUÇÃO**

No Brasil, pode-se dizer que a cana-de-açúcar sustentou o processo de colonização, tendo sido a razão de sua prosperidade nos dois primeiros séculos do seu descobrimento. A cultura da cana-de-açúcar tem um importante papel na economia agrícola Brasileira não só produção de açúcar e álcool, mas por ser uma importante fonte de energia utilizada na alimentação do rebanho bovino no período de baixa precipitação.

A cana-de-açúcar destaca-se como uma planta com elevada quantidade de energia, principalmente, pela sacarose. O elevado teor deste nutriente na planta madura, justamente numa época do ano em que as pastagens são escassas e deficientes em proteína e energia, faz da cana uma importante fonte energética para bovinos durante o período seco.

Segundo Thiago e Vieira (2002) a cana de açúcar é uma alternativa de alimentação para animais no período da seca, pois a mesma é uma gramínea forrageira que tem uma alta produção de matéria seca (MS) por hectare e

capacidade de manutenção do potencial energético durante o período seco, podendo ser utilizada in natura ou ensilada.

Mas a cultura é tida como uma cultura muito exigente em nutrientes e, com isso, faz-se necessárias pesadas adubações de manutenção após seguidas colheitas. Acredita-se que, além dos elementos essenciais, outros como silício poderão ser benéficos, inclusive para o aumento da produtividade.

O silício (Si) que recebeu pouca atenção dos cientistas e estudiosos até anos recentes por não estar incluído no grupo de elementos considerados como essenciais para as plantas. No entanto, os efeitos benéficos do silício têm sido demonstrados em várias espécies vegetais, especialmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico.

Dentre as principais fontes de silício para aplicação no solo há as escórias siderúrgicas, que são consideradas resíduos de mineração. O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa (produzido nas siderúrgicas), com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, o que corresponde à geração de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória por ano. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional.

O uso de escórias em solos ácidos é recomendável, já que o cálcio existente é bastante solúvel, elevando, assim, em pouco tempo, seu pH. Desde 1955, a escória de siderurgia vem sendo utilizada para corrigir a acidez do solo nas Américas, na Europa e, como fertilizante silicatado, no Japão, Coréia, Taiwan, Hawaii e China.

### **Silício no solo**

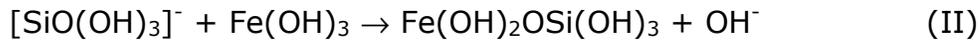
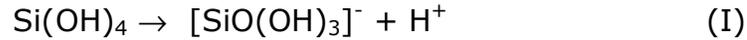
O silício é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (RAIJ, 1991). Ocorre em altos teores no solo, principalmente na forma de silicatos ( $\text{SiO}_2$  - mineral inerte das areias).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de silício presentes no solo são: a) silício solúvel ( $H_4SiO_4$  – ácido monossilícico), que, desprovido de carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento da sílica, com relação aos vegetais (RAIJ & CAMARGO, 1973); b) silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). As solubilidades destes minerais dependem da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) em sua estrutura. A dissolução destes minerais é afetada, também, por fatores de solo, tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de oxi-redução e teores de sesquióxidos.

Embora não faça parte da lista dos elementos essenciais (BRADY, 1992), o silício é considerado útil para o crescimento e a produção de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, trigo, milho, capim kikuyo, capim guiné, entre outras). Solos extremamente intemperizados, ácidos, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases e de silício trocável e baixa relação sílica/sesquióxidos de ferro e alumínio, são predominantes em várias regiões da América Latina, África, Ásia e Austrália. Solos tropicais com estas propriedades são classificados como Oxissolos e Ultissolos e, como tais, apresentam baixa capacidade de fornecimento de silício disponível.

O teor de silício solúvel decresce com o aumento do pH nas mais variadas classes de solo. Segundo McKeague & Cline (1963), a concentração de silício solúvel em alguns solos é de 36 e 6  $mg\ dm^{-3}$  para valores de pH 6 e 9, respectivamente. Em adição, Jones & Handreck (1967) representaram que a concentração de ácido monossilícico na solução do solo diminuiu de 33 para 11  $mg\ dm^{-3}$ , com aumento do pH de 5,4 para 7,2. Ao contrário do solo, os valores de silício na água tendem a permanecer estáveis (120 a 140  $mg\ dm^{-3}$ ) para um pH de 3 e 6, apresentando um pequeno incremento para um pH acima de 9 (MCKEAGUE & CLINE, 1963; JONES & HANDRECK, 1967). Em pH neutro e concentrações acima de 140  $mg\ dm^{-3}$  de silício, ocorre precipitação e a solubilidade é retomada com um acréscimo no valor do pH, formando íons silicatos (JONES & HANDRECK, 1967). Drees et al. (1989) e Epstein (1994)

apontaram que a concentração de  $H_4SiO_4$  na solução do solo pode variar de 0,1 a 0,6 mmol  $L^{-1}$ . O equilíbrio químico do silício no solo depende principalmente do pH, como mostram as reações abaixo:



Em pH abaixo de 9, a decomposição dos silicatos libera silício para a solução do solo, na forma de ácido monossilícico  $H_4SiO_4$ , um ácido fraco. Assim, solos mais ácidos tendem a ter maiores teores de silício na solução do solo do que os alcalinos, desta forma, a calagem diminuiria sua disponibilidade (MALAVOLTA, 1980).

Segundo Hingston et al. (1967) e Hingston et al. (1972), a máxima adsorção de silicato em gibbsita e goethita ocorre em pH próximo de 9,6 sendo menor em pH mais baixo e mais alto. Se a reação de adsorção do silício for representada esquematicamente como abaixo, pode-se visualizar qualitativamente o efeito do pH nesta adsorção.



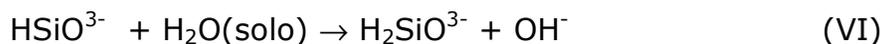
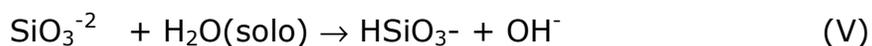
Onde M representa o sítio de adsorção que poderá ser um íon Fe ou Al da superfície das argilas ou sesquióxidos. A elevação do pH provoca um aumento do número de M-OH e, em consequência, o equilíbrio da reação (III) se desloca para a esquerda, aumentando com isso a adsorção até pH próximo de 9. A partir deste ponto, há um decréscimo acentuado de moléculas de  $H_4SiO_4$  na solução, devido à dissociação do ácido, diminuindo, portanto, a adsorção, pelo deslocamento da reação para a esquerda.

Mengel & Kirkby (1987) mencionaram que a concentração de ácido monossilícico na solução do solo é controlada pelo pH, o qual é dependente das reações de adsorção nos sesquióxidos, principalmente os de alumínio. O aumento do pH e do teor de cálcio no solo, devido à aplicação de escórias,

pode afetar a disponibilidade de silício. Um alto teor de CO<sub>2</sub> produzido pela respiração das raízes das plantas ou por microrganismos presentes na rizosfera pode decrescer o pH e aumentar a concentração de silício na solução do solo. A interação do silício com o fósforo e com o alumínio afeta a sua disponibilidade à planta. Os teores de sesquióxidos de ferro e de alumínio correlacionam-se positivamente com a adsorção de ácido monossilícico no solo (JONES & HANDRECK, 1967).

O excesso de cálcio em relação ao magnésio na solução do solo pode prejudicar a absorção do último, tal como o excesso de magnésio também pode prejudicar a absorção de cálcio (KIDDER & GASCHO, 1977). Marun (1990), trabalhando com quatro espécies de forrageiras, obteve um maior efeito na produção de matéria seca com a relação 2/1 de Ca/Mg no solo. Este autor cita ainda que, a relação de Ca/Mg no tecido vegetal, ideal para maior produção de matéria seca, foi de 0,48 para *Brachiaria decumbens* e para *B. brizantha*. No mesmo experimento, os teores médios de Ca e Mg no solo foram respectivamente, 3,2 e 0,8 cmolc dm<sup>-3</sup> de solo, e 0,5% de Ca e 0,6% de Mg nas folhas da *B. decumbens*.

Segundo Alcarde (1992), a ação neutralizante do silicato pode ser explicada de acordo com as seguintes reações:



Para uma mesma dose aplicada de silicato de cálcio, o aumento nos valores de pH do solo foi maior na Areia Quartzosa do que no Latossolo Vermelho-Amarelo (FARIA, 2000). No Latossolo Vermelho-Amarelo, o pH aumentou de 4,7 para 5,1 enquanto que na Areia Quartzosa o aumento foi de

4,1 para 4,7. Segundo Korndörfer et al. (2001a), a aplicação superficial de silicato de cálcio sobre uma pastagem "degradada" de *Brachiaria decumbens*, elevou os valores de pH, Ca e Si do solo nas duas profundidades amostradas (0-10 e 10-20 cm) num período de 4 meses após a aplicação (KORNDÖRFER et al, 2003).

A quantidade máxima de silicato (fonte de silício) a ser aplicada no solo ainda não está definitivamente mensurada, uma vez que ainda não se constatou efeito tóxico do silício para as plantas, não havendo limites para a aplicação desse insumo. Na prática, o limite acontece se for considerado o efeito corretivo dos silicatos, isto é, quando a dose de silicato provocar aumentos de pH e de saturação por bases acima dos valores desejados. Neste caso, podem acontecer desequilíbrios nutricionais, principalmente de metais (Cu, Fe, Zn e Mn) e de P, devido ao processo de insolubilização desses elementos (KORNDÖRFER et al, 2002).

Os silicatos de Ca e Mg, por apresentarem comportamento e composições semelhantes ao dos carbonatos, podem substituir os calcários com vantagens. Assim sendo, a recomendação de uso de silicato deve ser baseada em qualquer um dos métodos de recomendação de calagem. Em solos com pH e/ou saturação de bases em níveis desejáveis, visando exclusivamente ao fornecimento de silício, não aplicar doses superiores a 800 kg ha<sup>-1</sup> de silicato (KORNDÖRFER et al, 2002). Ainda segundo esse mesmo autor, a aplicação ou reaplicação do silicato também segue a mesma orientação do calcário, isto é, bem distribuído e, preferencialmente, incorporado. Assim como o calcário, os silicatos apresentam efeito residual.

Pereira (1978) estudou o efeito corretivo de uma escória da USIMINAS-MG, em comparação com sete calcários de diferentes origens e concluiu não haver diferenças estatísticas na correção de dois latossolos. Contudo, Veloso et al. (1992) verificando o efeito de diferentes materiais (calcário calcinado e dolomítico, escória e gesso) no pH do solo, concluíram que o calcário calcinado foi o que provocou o maior aumento de pH, seguido de calcário dolomítico e da escória. Segundo Louzada (1987), quando se aplicam calcário e escória na

mesma granulometria, as escórias são pouco menos eficientes na elevação do pH do solo, sendo essas pequenas diferenças de eficiência atribuídas ao valor neutralizante mais baixo da escória. O mesmo autor cita ainda que algumas escórias, pelos seus altos teores de silício e micronutrientes, poderiam substituir o FTE (micronutrientes aplicados na forma de óxidos silicatados), com a vantagem de liberar mais rapidamente o silício, além de exercer efeito de calagem no solo. Um dos efeitos favoráveis da escória para o crescimento e produção de algumas culturas é o aumento na disponibilidade de P, provocado pela adição de silicato ao meio.

Korndörfer et al. (1999) aplicaram silicato de cálcio (Wollastonita), na cultura do arroz de sequeiro, nas doses de 0, 120, 240, 480 e 960 kg ha<sup>-1</sup> de silício, incorporado ao solo 30 dias antes do plantio, em quatro tipos de solos. A aplicação de wollastonita aumentou o pH e o Ca trocável em todos os solos.

A acidez do solo por si só não afeta diretamente o crescimento vegetal, a não ser em valores de pH inferiores a 4, onde a concentração do H<sup>+</sup> começa a interferir na absorção de cátions pela raiz (BLACK, 1968). Na faixa de pH que vai de 6 a 6,5 há uma maior disponibilidade dos macronutrientes e uma menor disponibilidade dos micronutrientes, com exceção do molibdênio e do cloro. Além deste efeito na disponibilidade, há também o efeito direto da concentração hidrogeniônica na absorção. Em geral, pH abaixo de 7 diminui a absorção de cátions, talvez por competição entre estes e o H<sup>+</sup> por sítios do carregador. Reciprocamente, aumentando o pH, diminui a absorção de ânions (MALAVOLTA et al., 1997).

Em algumas regiões, o elemento silício pode estar limitando a produção e a sustentabilidade da agricultura. O manejo intensivo e a monocultura de cana-de-açúcar são sistemas que podem levar rapidamente ao esgotamento do silício disponível no solo e, em conseqüência, reduzir a sustentabilidade da lavoura (JUO e SANCHEZ, 1986; FOY, 1992). Quando em rotação com o arroz irrigado e cultivado em solos orgânicos e arenosos da Florida, as plantas de cana-de-açúcar apresentou respostas surpreendentes para a aplicação em pré-plantio de escórias silicatadas (ANDERSON, 1991).

## **Efeito do silício na cana-de-açúcar**

A cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) é uma gramínea tropical semi perene de metabolismo C4, que se caracteriza por apresentar altas taxas de fotossíntese líquida e eficiência na utilização de nitrogênio e na energia solar, o que a torna uma das mais eficientes e produtivas de todas as culturas especialmente quando comparadas às do tipo C3 (SILVEIRA, 1985).

Esta espécie responde favoravelmente à adubação com silício, particularmente nos solos pobres com esse elemento. Ross et al. (1974) cita uma remoção (exportação) de até 408 kg ha<sup>-1</sup> de silício para uma produtividade de apenas 74 t ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar (folhas + colmos). Como resultado desta enorme exportação de silício, uma diminuição temporária desse elemento disponível no solo pode ocorrer. Rendimentos de cana-de-açúcar no Havaí obtiveram aumento entre 10 e 15% quando o silicato foi utilizado em solos com baixos teores de silício (AYRES, 1966).

Uma avaliação feita por Deren et al. (1994) foi suficiente para demonstrar que existe uma grande variabilidade genética quanto à capacidade genética das cultivares em acumular silício. Korndörfer et al. (1998), de forma semelhante, verificaram que diversas cultivares de cana-de-açúcar apresentam teores variáveis de silício nas folhas.

As folhas de cana-de-açúcar contendo menos de 0,5% de silício são freqüentemente afetadas por um sintoma denominado "freckling". A causa deste sintoma é ainda bastante controversa, porém, a maioria dos pesquisadores atribui à falta de silício e ao desequilíbrio nutricional (FOX e SILVA, 1978).

## **6. BIBLIOGRAFIA**

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. 62 p. (Boletim Técnico, 6).

AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Sci.** 101(3):216-227. 1966.

MADEIROS, L.B. VIEIRA, A.O. e COSTA, D.P.B. Aplicação de escória siderúrgica: silício no solo e na cana-de-açúcar. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 26, Ed. 131, Art. 889, 2010.

BLACK, C. A. **Soil-plant relationships**. New York: John Wiley e Sons, 1968.

BRADY, N. C. The nature and properties of soil. 10th. ed. New York: **Macmillan Publishing Company**, 1992. 750p.

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**, v. 34, p.733-37, may-june, 1994

DREES, L.R.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E. et al. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America. Wisconsin, 1989. p. 913-974.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

FARIA, R, J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 47 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.

FOX, R.L.; SILVA, V.A. Symptoms of plant malnutrition silicon an agronomically essential nutrient for sugarcane. *Agron. Assoc. Soil. Sci. Univ. Hawaii*, (Série 8). 1978.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, New York, v. 19, p. 97-149, 1992.

HINGSTON, F. J.; ATKINSON, R. J.; POSNER, A. M.; QUIK, J. P. Specific adsorption of anions. **Nature**, London, v. 215, p. 1489-1561, 1967.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M., QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 177-192, 1972.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plant, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v. 19, p. 107-149, 1967.

JUO, A.S.R.; SANCHEZ, P.A. Soil nutritional aspects with a view to characterize upland rice environment. p.81-94. **In: Upland Rice Res., International Rice Research Institute**, Los Baños, Laguna, Philippines. 1986.

KIDDER, G.; GASCHO, G. J. Silicate slag recommended for specified conditions in Florida. **Agronomy Facts**, n. 65, 1977.

KORNDÖRFER, G.H., COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. **Inter-American Sugar Cane Seminar**. 9-11 Sept., Miami, FL. 1998.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999.

KORNDÖRFER, C. M.; KORNDÖRFER, G. H.; PEÇANHA, M. R.; CORREA, G. F.; JUNQUEIRA NETO, A. A. Correção de acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem de Brachiaria decumbens In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina. **Anais...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 144. 2001.

MADEIROS, L.B. VIEIRA, A.O. e COSTA, D.P.B. Aplicação de escória siderúrgica: silício no solo e na cana-de-açúcar. **PUBVET**, Londrina, V. 4, N. 26, Ed. 131, Art. 889, 2010.

KORNDÖRFER, G. H., RODRIGUES, F. A., VALE, F. X. R., PRABHU, S. DO A., DATNOFF, E. DO L., OLIVEIRA, A. M A., ZAMBOLIM, L. **Influência do silicone no blight da bainha do arroz no Brasil**. 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de **Silicato de Cálcio e Magnésio na Agricultura**: Uberlândia-MG: UFU/ICIAG. 2003. 23 p. 2º ed - (GPSi-ICIAG-UFU. Boletim Técnico, 01).

LOUZADA, P.T.C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. 52 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

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

MARUN, F. **Produção de matéria seca e nutrição mineral de gramíneas forrageiras em função da relação Ca/Mg do corretivo**. 79 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1990.

McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soil solution. II. The adsorption of monosilic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 83-95, 1963.

MENGEL, K.B.; KIRKBY. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

PEREIRA, J.E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto forno**. 84 p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1978.

RAIJ, B.V.; CAMARGO, O.A. Silica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, n. 11, p. 223-231, jul. 1973.

ROSS, L., NABABSING, P. and Wong You Cheong, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. **In: International Cong. the Soc. Sugar Cane Technol.** 15, Durban, Proc., 15(2):539-542. 1974.

THIAGO, L. R. L. S; VIEIRA, J. M. 2002. Cana - de - açúcar: **Uma alternativa de alimento para a seca**. Comunicado Técnico. EMBRAPA gado de corte. COT Nº. 73. Disponível em: <<http://www.cnpqc.embrapa.br/publicacoes/cot/COT73.html>>. Acesso em: 15 ago. 2008.

VELOSO, C. A. C., BORGES, A. L.; MUNIZ, A. S.; VEIGAS, J. A. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 49, n. 1, p. 123-128, 1992.