

# APLICAÇÃO DE ESCÓRIA SIDERÚRGICA NO SOLO: EFEITO SOBRE O FÓSFORO SOLÚVEL

**Lúcio Bastos MADEIROS (1); Lorrana Priscila BARBOSA SILVA (2); José Antonio Campos de MELO (3); João Felipe Silva CASTRO (4); Adriana Coimbra ROLIM (5)**

(1) IFMA, Campus São Luis – Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;  
e-mail: [lucioagron@gmail.com](mailto:lucioagron@gmail.com)

(2) IFMA, Campus São Luis – Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;  
e-mail: [lorranaprisila@hotmail.com](mailto:lorranaprisila@hotmail.com)

(3) IFMA, Campus São Luis – Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;  
e-mail: [cataventostornado@ig.com.br](mailto:cataventostornado@ig.com.br)

(4) IFMA, Campus São Luis – Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;  
e-mail: [felip\\_esc@hotmail.com](mailto:felip_esc@hotmail.com)

(5) IFMA, Campus São Luis – Maracanã; Av. dos Curiós, s/n, Vila Esperança, São Luís/MA, CEP: 65095-460;  
e-mail: [dindinha\\_drica@hotmail.com](mailto:dindinha_drica@hotmail.com)

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo avaliar a influência do silício sobre a disponibilidade de fósforo solúvel em um solo franco-arenoso. O experimento foi instalado em casa de vegetação, na EMBRAPA, Fortaleza-CE, utilizando-se um dos solos mais representativos do estado do Ceará, em que se cultiva cana-de-açúcar, o Argissolo Vermelho-Amarelo. Para tal, foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial (5x2) com cinco doses de silício: 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 15,0 g vaso<sup>-1</sup> de escória siderúrgica, e duas cultivares de cana-de-açúcar com quatro repetições. A fonte de silício usada foi uma escória siderúrgica que contém 11% de SiO<sub>2</sub> solúvel. Nesse experimento, avaliaram-se as concentrações de fósforo e silício solúveis no solo. Com base nos resultados, conclui-se que a aplicação em doses crescentes da escória siderúrgica aumentou a concentração de silício e fósforo solúveis no solo.

**Palavras-chave:** fertilidade, silício, fósforo.

# 1 INTRODUÇÃO

Os fatores que influenciam o crescimento vegetal podem ser agrupados em genéticos e ambientais, sendo estes um conjunto de condições externas que afetam a vida e o desenvolvimento de uma planta.

Dentre os fatores ambientais, destaca-se o suprimento de nutrientes, o qual depende, entre outros fatores, das características do solo. Frequentemente o estado de baixa fertilidade dos solos agricultáveis é caracterizado pela elevada acidez e baixo teor de nutrientes como o cálcio (Ca), o magnésio (Mg), o potássio (K) e o fósforo (P). Da mesma forma, solos contendo apreciáveis quantidades de alumínio (Al) e ferro (Fe), são altamente responsáveis pela adsorção de fosfatos.

Os fosfatos formam compostos insolúveis (PARFITT, 1978) os quais, por sua vez, tornam o fósforo indisponível. No tocante a fertilidade, fontes naturais de fosfato solúvel, como as rochas fosfatadas, são escassas não só no Brasil, mas também no mundo inteiro. Além disso, segundo diversos autores, a aplicação de silicato poderia aumentar o fósforo solúvel no solo diminuindo, com isso, quantidades elevadas de adubos fosfatados aplicados ao solo e promovendo uma economia e menores custos à agricultura brasileira. (CARVALHO, 2000; PRADO; FERNANDES e NATALE, 2001)

A cana-de-açúcar é tida como uma cultura muito exigente em nutrientes e, com isso, faz-se necessárias pesadas adubações de manutenção, após as colheitas. Acredita-se que, além dos elementos essenciais, outros poderão ser benéficos, como é o caso do silício (Si) que pode trazer um aumento de produtividade.

O silício é o segundo elemento mais abundante em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (RAIJ, 1991). Embora não faça parte da lista dos elementos considerados como essenciais para as plantas (BRADY, 1992), o silício é considerado útil para o crescimento e a produção de muitas gramíneas, como arroz, cana-de-açúcar, sorgo, trigo e milho, especialmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico. (KORNDÖRFER, ARANTES, CORRÊA, 1999; PRADO, FERNANDES, NATALE, 2001).

Dentre as principais fontes de silício para aplicação no solo há as escórias siderúrgicas, que são considerados resíduos indústria siderúrgica. O Brasil é o sexto maior produtor mundial de ferro-gusa (produzido nas siderúrgicas), atingindo cerca de 25 milhões de toneladas por ano, o que corresponde à geração anual de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória. O uso de escórias em solos ácidos é recomendável, já que o cálcio existente é bastante solúvel, elevando, assim, em pouco tempo, seu pH.

Trabalho realizado por Barbosa Filho e Zimmermann (2004) com a cultura do arroz, demonstrou que a aplicação de escória no solo, associada à diminuição da sua acidez, proporcionaram um aumento da disponibilidade de Si solúvel. Como consequências desta aplicação destacam-se os aumentos da disponibilidade de fósforo e cálcio e a elevação da porcentagem de saturação por bases, após o cultivo do arroz. Outros autores tem avaliado a utilização de escória de siderúrgica para fins agrícolas em diferentes culturas (PRADO & FERNANDES, 2000; PRADO et al., 2002).

A decomposição dos silicatos libera silício para a solução do solo, na forma de ácido monossilícico  $H_4SiO_4$ , sendo 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 Louzada (1987), quando se aplicam calcário e escória na mesma granulometria, as escórias demonstram uma eficiência na elevação do pH do solo semelhante ao calcário. Esse autor relata ainda que algumas escórias têm efeito favorável de aumentar a disponibilidade de fósforo, provocado pela adição de silicato ao meio.

Seguindo esta mesma linha de pesquisa, Raij (1991), corrigiu a acidez do solo com silicatos e além de elevar o pH, também aumentou a disponibilidade de fósforo, pelo efeito adicional de deslocar o P adsorvido para a solução.

Outro aspecto a ser destacado refere-se ao passivo ambiental provocado pelos resíduos gerados nos processos industriais, exigindo elevados custos para a sua disposição final (Altafin et al. 2004). Portanto, o emprego de resíduos industriais na agricultura como fonte de nutrientes e corretivo da acidez do solo tem sido apontada e avaliada por alguns autores, os quais tem demonstrado a sua viabilidade para diferentes culturas, como Altafin et al. (2004); Paparotte & Centurion Maciel (2010).

Objetivou-se, com esta pesquisa, avaliar a influência do silício sobre a disponibilidade de fósforo solúvel em um solo franco-arenoso cultivado com cana-de-açúcar em casa de vegetação.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará, numa altitude de 20 m acima do nível do mar, apresentando as seguintes coordenadas geográficas: latitude de 3°44' S e longitude de 38° 33' W. tal experimento foi instalado no dia oito de dezembro de 2003 a dezesseis de março de 2004.

Foram coletadas amostras da camada superficial (0-20 cm de profundidade) de um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média, com baixo teor de silício (5,0 mg dm<sup>-3</sup> extraídos com ácido acético 0,5 M). A amostra de solo foi seca ao ar e passada em peneira com malha de dois milímetros e suas análises químicas foram realizadas no Laboratório de Ciência do Solo da Universidade Federal do Ceará (Tabela 1), seguindo as metodologias descritas em EMBRAPA, 1999.

**Tabela 1 - Atributos físicos e químicos do solo utilizado**

<b>Atributos</b>	
Areia grossa, g kg <sup>-1</sup>	530
Areia fina, g kg <sup>-1</sup>	260
Silte, g kg <sup>-1</sup>	140
Argila, g kg <sup>-1</sup>	70
Classe Textural	Franco-arenosa
Densidade Global, g kg <sup>-1</sup>	1,44
Densidade Parcial, g kg <sup>-1</sup>	2,64
Grau de Flocculação, g 100g <sup>-1</sup>	86
Umidade a 0,033 Mpa, g 100g <sup>-1</sup>	5,81
Umidade a 1,5 Mpa, g 100g <sup>-1</sup>	4,38
Água útil, g 100g <sup>-1</sup>	1,43
pH	5,2
CE, dS m <sup>-1</sup>	0,54
Cátions Trocáveis	
Ca <sup>+2</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	1,60
Mg <sup>+2</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,50
K <sup>+</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,21
Na <sup>+</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,03
H <sup>+</sup> + Al <sup>+3</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	2,47
Al <sup>+3</sup> , cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	0,15
S, mg kg <sup>-1</sup>	15,1
CTC, cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	6,33
V, %	50
PST	1,0
M.O., g kg <sup>-1</sup>	13,03
PST	1,0
C, g kg <sup>-1</sup>	7,560
N total, g kg <sup>-1</sup>	0,76
P assimilável, mg kg <sup>-1</sup>	3,0
Zn, mg kg <sup>-1</sup>	0,40
Mn, mg kg <sup>-1</sup>	0,85
Fe, mg kg <sup>-1</sup>	21,2
Cu, mg kg <sup>-1</sup>	12,7

A fonte de silício utilizada foi uma escória de siderurgia de alto forno proveniente de uma siderúrgica do estado de Minas Gerais, produtora de ferro gusa. As escórias foram aplicada noventa dias antes do plantio dos rebolos de cana-de-açúcar. Não foi realizado calagem já que tais escórias, além de ser fonte de silício é um corretivo de solo.

Os rebolos de cana-de-açúcar (*Sacharum officinarum*), cv. RB72454 e SP791011 foram semeados em vasos plásticos contendo 10 Kg de solo, em oito de dezembro de 2003.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com duas cultivares (RB72454, SP791011) submetidas a cinco diferentes doses de escórias siderúrgica, 0, 2,5, 5,0, 10,0 e 15,0 g de escória por vaso de 10 kg em quatro repetições por tratamento. Tal escória contém 11% de silício solúvel sendo assim, tais tratamentos equivalem a 0,000; 0,275; 0,550; 1,100; 1,650 g SiO<sub>2</sub> vaso<sup>-1</sup>. Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade (FERREIRA, 2003; ZIMMERMANN, 2004). Em seguida, efetuaram-se as regressões polinomiais das variáveis que se mostraram necessárias.

Após a coleta das plantas, em dia/mês/ano, recolheram-se as amostras de solos para as análises químicas dos nutrientes fósforo (P) e silício (Si) solúveis.

A análise de silício foi realizada usando-se o ácido acético (HC<sub>2</sub>H<sub>3</sub>O<sub>2</sub>) 0,5 M como solução extratora e a leitura feita em fotolorímetro (KORNDÖRFER et al., 1999).

### 3 RESULTADO E DISCUSSÃO

As estimativas das concentrações de macronutrientes do solo revelaram que a aplicação do resíduo de siderúrgica provocou efeito significativo sobre as concentrações de silício e fósforo (Tabela 2). Conforme ilustrado nesta mesma tabela, houve efeito interativo significativo das cultivares de cana-de-açúcar RB72454 e SP791011 com o Si aplicado sobre as concentrações desses macronutrientes no solo.

**Tabela 2 - Concentração de silício (Si) e fósforo (P) no solo submetido à aplicação de escória e cultivado com cana-de-açúcar RB72454 e SP791011**

Causas de variação	GL	Quadrados Médios	
		Si	P
Tratamentos <sup>1</sup>	4	18,02**	649,00**
Cultivares	1	0,086 <sup>ns</sup>	360,00 <sup>ns</sup>
Tratamentos x cultivares	4	1,971**	926,75**
Resíduo	30	0,266	120,00
CV(%)		6,85	10,11

\*\* - F significativo a 1% (P<0,01); <sup>ns</sup> - F não significativo (P>0,05). 1- Tratamentos: cinco níveis de adubações com fonte de Silício (0,000; 0,275; 0,550; 1,100 e 1,650 g SiO<sub>2</sub> vaso<sup>-1</sup>)

Na Tabela 3, pode-se observar os seguintes efeitos da aplicação da escória siderúrgica sobre o solo cultivado com cana-de-açúcar:

- no solo com a cultivar RB72454, houve efeitos significativos das doses de resíduo industrial sobre as concentrações de P e Si na concentração mais alta;
- no solo com a cultivar SP791011 foi observado efeito significativo do silício, principalmente na concentração foliar desse elemento químico, o qual aumentou linearmente com as doses de resíduo aplicadas.

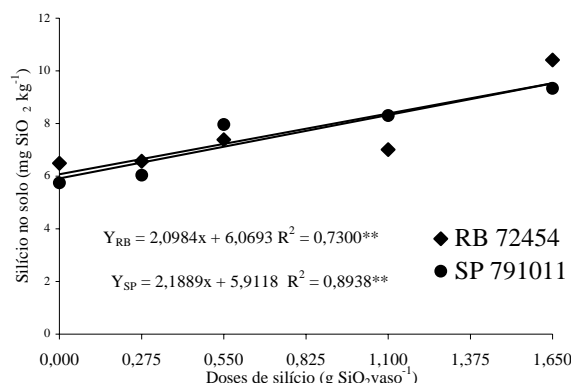
**Tabela 3 - Médias das concentrações de silício (Si) e fósforo (P) no solo submetido a aplicação de escória cultivado com cana-de-açúcar RB72454 e SP791011**

Variáveis	Solo com a cultivar RB	
	Tratamentos (g SiO <sub>2</sub> vaso <sup>-1</sup> )	
	Si Total (mg kg <sup>-1</sup> )	P <sup>(1)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
0,000	6,49b	110,00ab
0,275	6,56b	95,50b
0,550	7,39b	101,75b
1,100	7,01b	114,75ab
1,650	10,41a	135,50a
Média	7,57A	111,50A
	Solo com a cultivar SP	
	Tratamentos (g SiO <sub>2</sub> vaso <sup>-1</sup> )	
	Si Total (mg kg <sup>-1</sup> )	P <sup>(1)</sup> (mg kg <sup>-1</sup> )
0,000	5,75c	122,50a

0,275	6,04c	95,25b
0,550	7,96b	104,00ab
1,100	8,30ab	113,50ab
1,650	9,33a	92,25b
Média	7,48A	105,50A

Médias seguidas de mesma letra minúscula e mesma letra maiúscula na coluna, entre cultivares, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. <sup>(1)</sup> - extraídos por Mehlich<sup>-1</sup> (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>); <sup>(2)</sup> - extraído por H<sub>2</sub>O; <sup>(3)</sup> - KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e <sup>(4)</sup> - extraído por diferença [Mg<sup>2+</sup> = (Ca<sup>2+</sup> + Mg<sup>2+</sup>) - Ca<sup>2+</sup>].

Na Figura 1, observa-se a relação entre a dose de silício aplicada e a concentração de Si no solo. O aumento linear do Si do solo em função da dose de aplicação do resíduo de siderurgia, se explica pela própria natureza do material aplicado.



**Figura 1 - Efeito das doses de silício sobre a concentração desse elemento no solo submetido a aplicação de escória cultivado com cana-de-açúcar RB72454 e SP791011**

A média das concentrações de fósforo não se ajustou em nenhum modelo matemático, no entanto, as aplicações de 0,275 e 0,550 g SiO<sub>2</sub> vaso<sup>-1</sup> diminuiu 14,4 e 8,25 mg kg<sup>-1</sup> de solo por vaso, equivalente a 15,2 e 8,1% a menos em relação à testemunha quando se cultivou a RB72454. Na cultivar SP791011, esse fenômeno se repete, e estas mesmas aplicações resultaram em 27,25 e 18,5 g SiO<sub>2</sub> vaso<sup>-1</sup>, equivalendo a 28,6 e 17,8% a menos em relação ao vaso que não recebeu escória (Tabela 3). Tais resultados corroboram com estudos feitos por Parfitt (1978) e Torrent, Schwertmann e Barron (1992) que a dessorção de P dos colóides pode ser causada pela presença do silício no solo.

#### 4 CONCLUSÕES

A aplicação de silício na forma de escória siderúrgica pode contribuir com a maior disponibilidade deste elemento e do fósforo para a solução do solo e, com isso, resultar em economia na aplicação desse elemento na agricultura, além de ser uma alternativa promissora para a disposição desse resíduo industrial.

#### REFERÊNCIAS

ALTAFIN, V. L.; POLONIO, W.; MEDEIROS, G. A.; BRANDÃO, M. F.; ZUIN, F. D.; BUSCARATO, E. A.; MENEZES, M. O. Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 1, n. 1, p. 45-50, 2005. Disponível em: <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=12>>. Acesso em: maio de 2008.

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. da;. **Influência da Escória Silicatada na Acidez do Solo e na Produtividade de Grãos do Arroz de Terras Altas**. Ciências Agrotécnicas, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, mar./abr., 2004

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

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FERNANDES, L. A. ; OLIVEIRA, J. R. A. C. Dessorção de fósforo por silício em solos cultivados com eucalipto. **Revista Brasileira Ciência Solo**. v. 24, p. 69-74, 2000. [S.l.]. [s.n.].

- FERREIRA, P. V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. 3.edição Maceió. ed. EDUFAL, 2003. 421p.
- KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.
- 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 de Ciência do Solo**. v. 23, n. 1, p. 101-106, jan./mar. 1999.
- LOUZADA, P. T. C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo**. 52p. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1987.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 3. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1999. 212p.
- PARFITT, R. L. Anion adsorption by soils and soil materials. **Advances in Agronomy**. v. 30 New Zealand, 1978.
- PAPAROTTE, I.; CENTURION MACIEL, C. A. Efeitos do resíduo de gesso da indústria cerâmica sobre as propriedades químicas do solo. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal, SP, v. 3, n. 1, p. 32-41, 2006. Disponível em: <<http://www.unipinhal.edu.br/ojs/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=43>>. Acesso em: maio de 2010.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana de açúcar em vaso. **Scientia Agrícola**. v. 57, n. 4, p. 739-744, 2000.
- PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. **Uso agrícola de siderúrgica no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, ISBN: 85-87632-43-4. 2001. 67p.
- PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n. 4, p. 539-546, abr. 2002.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres. Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1991. 343p.
- TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRON, V. Fast and slow phosphate sorption by goethite – rich natural materials, **Clays and Clay Minerals**. Córdoba, v. 40, n. 1, p. 14-21, 1992.
- ZIMMERMANN, F. J. P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. Santo Antonio de Goiás – GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2004. 402p.