



Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar¹

Márcio F. Sobral², Clístenes W. A. do Nascimento², Karina P. V. da Cunha³,
Hailson A. Ferreira², Airon J. Silva² & Fernando B.V. Silva²

RESUMO

Tipos de escórias se acumulam nos pátios das indústrias, tornando-se um problema ambiental, cuja disposição final em campos agrícolas é uma prática que pode minimizar a acumulação desses resíduos e, ao mesmo tempo, fornecer nutrientes às plantas e corrigir a acidez dos solos; apesar disto, há necessidade de se avaliar que riscos esses resíduos podem gerar ao ambiente. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar a disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de silício, macronutrientes (Ca, Mg e P), micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) e elementos tóxicos (Cd e Pb) para a cana-de-açúcar. O experimento foi realizado em solo classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo. Doses de escória de 0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 t ha⁻¹ foram aplicadas no sulco de plantio no qual foi semeada; posteriormente, a cana-de-açúcar (var. RB92579). A escória de aciaria aumentou significativamente os teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn no solo e reduziu a acidez potencial. Houve aumento na área foliar e na altura dos colmos, tanto quanto no teor de Zn nas folhas. Não foi detectada a presença de Ni, Cd e Pb no solo nem na planta, indicando que a utilização de escória de aciaria não causou contaminação com esses elementos.

Palavras-chave: silício, contaminação de solo, micronutrientes, disposição final

Basic slag and its effects on the concentration of nutrients and heavy metals in sugarcane

ABSTRACT

Several types of slags accumulate in industry and become an environmental problem. Its final disposal as fertilizer in agriculture is a practice that can supply plant nutrients and to correct soil acidity while minimizing the environmental impact. However, there is the need for evaluating the risks of slag addition contaminate soils with heavy metals. This study was carried out to determine the effects of the final disposal of a basic slag on the supply of silicon, macronutrients (Ca, Mg and P), micronutrients (Fe, Cu, Zn, Mn and Ni) and heavy metals (Cd and Pb) to sugarcane plants grown on an Ultisol. The basic slag doses (0; 0.5; 1.0; 2.0, and 4.0 t ha⁻¹) were applied to the sugarcane at the planting (cultivar RB92579). The results showed that the basic slag increased the concentrations of Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn and Zn in soil and reduced the potential acidity. There was an increase in the leaf area and stem height as well as in the Zn concentration in the leaves. Ni, Cd, and Pb were not detected neither in the soil nor in the plant. This indicates that the basic slag tested presented no soil contamination with these heavy metals.

Key words: silicion, contamination of soil, micronutrients, heavy metals

¹ Parte da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da UFRPE

² Departamento de Agronomia/UFRPE, CEP 52172-900, Recife, PE. Fone: (81) 3320-6220. E-mail: agro_sobral@yahoo.com.br, cwanascimento@yahoo.com, hailson_alves@hotmail.com, cumarajs@hotmail.com, ferbruno01@hotmail.com

³ Departamento de Engenharia Civil/UFRN, CEP 59072-970, Natal, RN. Fone: (84) 3215-3712. E-mail: cunhakpv@yahoo.com.br

INTRODUÇÃO

A crescente atividade siderúrgica no Brasil é uma importante produtora de diversos tipos de escória, produzindo mais de 3 milhões de toneladas por ano (Prado et al., 2002a, b) os quais, muitas vezes, são acumulados nos pátios das indústrias, gerando sério problema ambiental.

Segundo Pires & Mattiazzo (2008), dentre as opções de disposição final a reutilização de resíduos é, sem dúvida, a mais interessante, seja do ponto de vista econômico ou ambiental e, muitas vezes, social. A reciclagem de resíduos representa um benefício inquestionável: a minimização do problema ambiental, que representa seu descarte inadequado. Entretanto, no Brasil a principal destinação de resíduos ainda diz respeito aos aterros que, na maioria das vezes, não atendem aos padrões ambientais de qualidade.

As escórias siderúrgicas podem ser utilizadas na agricultura, basicamente como fornecedoras de Ca, Mg e Si para as culturas ou como corretivo da acidez do solo (Araújo & Nascimento, 2005; Corrêa et al., 2007); sua disposição nos campos agrícolas minimizaria seu acúmulo nos pátios das indústrias produtoras de ferro e aço (Prado et al., 2004a, b) mas, apesar desses efeitos benéficos, este resíduo pode conter metais pesados em teores relativamente elevados (Araújo & Nascimento, 2005) e outros elementos tóxicos passíveis de restringir sua utilização agrícola (Accioly et al., 2000).

Entre as culturas que apresentam potencial para a utilização de resíduos, a cana-de-açúcar é uma delas, devido ao seu histórico na reciclagem de resíduos. Diversos trabalhos têm sido realizados para avaliar os efeitos de escória siderúrgica em cana-de-açúcar e em outras culturas (Prado et al., 2003; Brassioli et al., 2009; Madeiros et al., 2009a, b; Prado & Fernandes, 2000). Prado et al. (2003) verificaram que a aplicação da escória siderúrgica e do calcário em preplântio, promoveu efeito residual positivo na produção da soqueira da cana-de-açúcar. Prado & Fernandes (2000) obtiveram, em seus estudos com a aplicação de calcário e escória siderúrgica com cana-de-açúcar em vaso que, além da correção da acidez do solo, ambos os corretivos aumentaram os teores de Ca+Mg do solo, de maneira semelhante, não se diferenciando entre si. Barbosa Filho et al. (2004) obtiveram resultados positivos quanto à absorção de Si e produtividade de grãos, ao aplicarem doses de escória no solo cultivado com arroz, em terras altas.

Neste cenário objetivou-se, com este trabalho, avaliar a disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de Si, nutrientes e metais pesados para cana-de-açúcar cultivada em condições de campo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Usina Santa Teresa, localizada no município de Goiana, Pernambuco. O solo foi classificado

como Argissolo Vermelho-Amarelo e caracterizado, química e fisicamente, conforme métodos preconizados pela EMBRAPA (1999) (Tabela 1).

A escória siderúrgica utilizada no experimento (pó de aciaria de forno elétrico) foi passada em peneira de 2 mm e caracterizada quimicamente, segundo métodos descritos pela EMBRAPA (1999) e Korndörfer et al. (2004), para determinação do silício. A escória foi digerida em forno de micro-ondas pelo método EPA 3052, visando à determinação dos metais pesados e silício (Tabela 2).

Tabela 2. Análise química da escória de aciaria e do calcário dolomítico utilizados no cultivo de cana-de-açúcar em solo de Goiana, PE

Característica	Valor	
	Escória	Calcário
SiO ₂ total (g kg ⁻¹)	198,00	-
SiO ₂ solúvel (g kg ⁻¹)	6,30	-
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	2,70	-
K ₂ O (g kg ⁻¹)	1,40	-
CaO (g kg ⁻¹)	131,00	374,0
MgO (g kg ⁻¹)	75,00	95,0
Fe (g kg ⁻¹)	20,10	-
Zn (g kg ⁻¹)	0,96	0,004
Cu (g kg ⁻¹)	0,24	0,002
Mn (g kg ⁻¹)	0,80	0,046
Ni (g kg ⁻¹)	0,07	0,01
Cd (g kg ⁻¹)	0,01	0,003
Pb (g kg ⁻¹)	0,33	-
PN (%)	67,40	94,0
RE (%)	66,40	81,0
PRNT (%)	45,00	76,0

PN - poder de neutralização; RE - reatividade; PRNT - poder relativo de neutralização total

A escória siderúrgica foi aplicada nas doses de 0,0;0,5;1; 2; e 4 t ha⁻¹, adubação com NPK, formulação 8-20-20(500 kg ha⁻¹), foi aplicada em todos os tratamentos com base na análise química do solo. A variedade de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) utilizada no experimento foi a RB 92579. Os tratamentos foram aplicados no sulco de plantio; em seguida, realizou-se o plantio da cana-de-açúcar nas linhas de cultivo da área experimental; cada parcela foi constituída de cinco linhas de cultivo (dez metros de comprimento), com espaçamento entre linhas de 1 m; a área experimental considerada para coleta dos dados foi representada pelas três linhas centrais.

Antes da colheita da cana-de-açúcar coletaram-se folhas para análise química; retiraram-se a folha +3 da planta (10 folhas por parcela), as quais foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e levadas ao laboratório para análise foliar; após secado em estufa a 65 °C, o material vegetal foi triturado em moinho tipo Wiley. O silício acumulado na parte aérea foi extraído de acordo com o método “amarelo”, descrito por Korndörfer et al. (2004). Visando à determinação dos demais elementos procedeu-se à digestão nitroperclórica, conforme metodologia da EMBRAPA (1999) e se determinaram Pe Si por

Tabela 1. Análise química e física do solo utilizado no experimento (camada de 0 – 20 cm de profundidade)

pH	P mg dm ⁻³	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺² +Mg ⁺²		Ca ⁺²	H+Al	Al ⁺³	Areia	Silte	Argila
				cmol _c dm ⁻³							
5,8	14	0,197	0,23	4,20	3,16	1,80	0,0	746	45	209	

colorimetria, K⁺ por fotometria de chama e Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Pb e Ni por espectrofotometria de absorção atômica.

As variáveis industriais analisadas foram: tonelada de cana por hectare (TCH) e sólidos totais no caldo (Brix); a TCH foi determinada pelo peso da cana crua colhida nas três linhas centrais de cada parcela no campo e as demais características industriais o foram pela própria usina; além dessas variáveis industriais foram avaliados, também, a altura dos colmos (ALTC), o número de colmos (NCOL), a área foliar (AFOL) e o diâmetro dos colmos (DMC).

Na colheita do experimento da cana-planta amostras de solo foram coletadas das parcelas experimentais nas profundidades de 0 – 20 cm e 20 – 40 cm, para se observar a influência da aplicação da escória nas propriedades químicas do solo.

Coletaram-se 8 amostras por linha para formar uma amostra composta, a qual foi acondicionada em saco plástico identificado previamente e levados para análise química. Nessas amostras coletadas foram determinados P, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Al³⁺, H+Al (EMBRAPA, 1999) e Si (Korndörfer et al. (2004) além, também, de Cu²⁺, Zn²⁺ e Mn²⁺, disponíveis nos tratamentos extraídos com Mehlich-1; Si e P foram definidos por colorimetria, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Pb e Ni foram extraídos com Mehlich-1 determinados por espectrofotometria de absorção atômica, o K por fotometria de chama e Ca, Mg, Al e H+Al, por titulometria.

O experimento foi conduzido em blocos ao acaso e constituído de cinco tratamentos, sendo quatro doses de escória siderúrgica e um tratamento somente com NPK, com quatro repetições, totalizando 20 parcelas, cada uma constituída de cinco linhas de cultivo (10 m de comprimento) e espaçada 1 m entre as linhas de cultivo; as três linhas centrais foram consideradas área experimental para a coleta dos dados. Os dados obtidos nas avaliações foram então submetidos à análise estatística por meio de ajustes de equações de regressão e correlações de Pearson, pelo programa estatístico SAEG v.9.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As doses crescentes de escória de aciaria não proporcionaram aumento significativo nas variáveis industriais analisadas. O efeito residual da escória siderúrgica na socaria poderá ser positivo se comparado ao da cana-planta, uma vez que a liberação dos nutrientes ocorre lentamente. De acordo com Brassioli et al. (2009), o efeito residual da escória de siderurgia no aumento da produção da cana-de-açúcar foi mais importante nas soqueiras, quando comparado com o da cana-planta, tendo em vista que não houve diferença entre os dois materiais na cana-planta nem na primeira soqueira.

Para as variáveis de altura de colmo e área foliar em cana-de-açúcar os aumentos foram significativos ($P \leq 0,05$) quando o solo foi tratado com escória siderúrgica (Figura 1A e 1B). Segundo Deren et al. (1993), o silício pode atuar favorecendo a fotossíntese, interferindo na arquitetura das plantas e até mesmo no metabolismo, o que implicaria em maior área foliar.

Em relação à análise do tecido foliar, o incremento foi significativo ($P \leq 0,05$) apenas nos teores de Zn ($y = 15,28 + 33,5x$); apesar deste aumento, o teor ficou abaixo da faixa

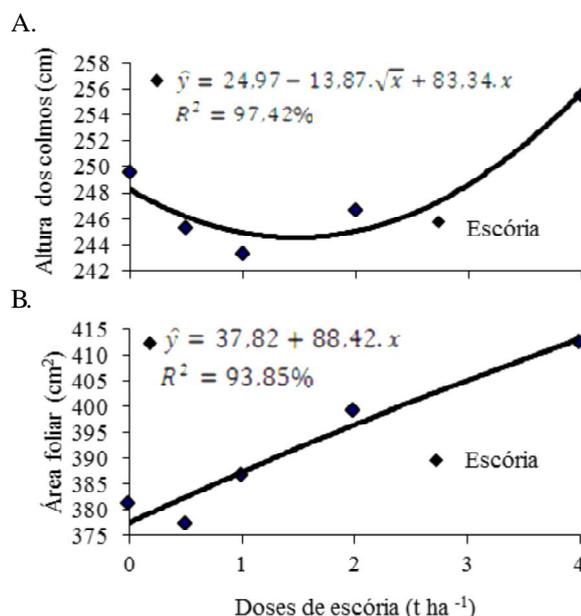


Figura 1. Altura de colmos (A) e área foliar (B), em plantas de cana-de-açúcar cultivado em solo tratado com escória siderúrgica

adequada de Zn na cana-de-açúcar (Rajj et al., 1997). Madeiros et al. (2009a), trabalhando com escória siderúrgica em cana-de-açúcar, variedade RB72454, verificaram um acréscimo na concentração de Zn de 10,14% em relação à testemunha. Não houve incrementos nos teores de Mn e Fe, P, Si, K nem nas folhas de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica. Madeiros et al. (2009b), obtiveram decréscimo nos teores de Cu e de Fe (0,74 e 12,95 mg kg⁻¹, respectivamente) nas folhas de cana planta, a cada tonelada de escória aplicado no solo. Não se detectou a presença de Ni, Cd e Pb nas folhas de cana-de-açúcar cultivado em solo tratado com escória de aciaria. Prado et al. (2003) verificaram, com uso de escória siderúrgica, incremento nos teores de Ca, Mg e P em folhas totais da soqueira de cana-de-açúcar, na época da colheita.

As doses de escória siderúrgica promoveram redução significativa ($P \leq 0,05$) na acidez potencial (H+Al) na profundidade de 0-20 cm; na profundidade de 20-40 cm não houve redução significativa ($P \leq 0,05$) da H+Al em função das doses de escória (Figura 2). Barbosa Filho et al. (2004) verificaram redução na acidez potencial com a aplicação de escória, favorecendo o desenvolvimento da cultura do arroz. Em estudo para avaliar o efeito residual de escória siderúrgica

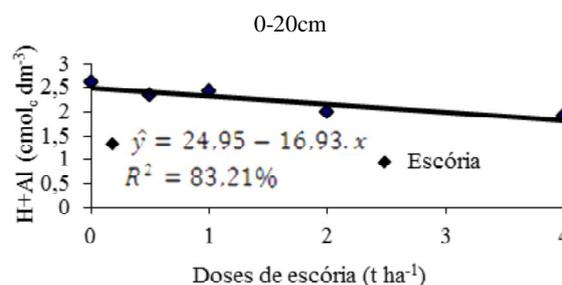


Figura 2. Redução da acidez potencial em função das doses de escória siderúrgica em solo cultivado com cana-de-açúcar

e do calcário calcítico em cana-de-açúcar, Prado et al. (2003), observaram que os dois corretivos apresentaram resultados semelhantes, ao reduzirem a acidez potencial trocável nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

Vários foram os aumentos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de Ca e Mg em função das doses de escória siderúrgica aplicadas ao solo, na profundidade de 0-20 cm, mas não ocorreu este incremento na profundidade de 20-40 cm (Figura 3A; Figura 3B). Prado et al. (2003), obtiveram resultados semelhantes para Ca e Mg na profundidade de 0-20 cm, ao avaliarem o efeito residual de escória siderúrgica em solo cultivado com cana-de-açúcar. O acréscimo nos teores de Ca e Mg é resultante da composição química do material utilizado, haja vista que no processo de fundição do aço o Ca e o Mg oriundos do calcário e silicato, participam das reações (Firme, 1986).

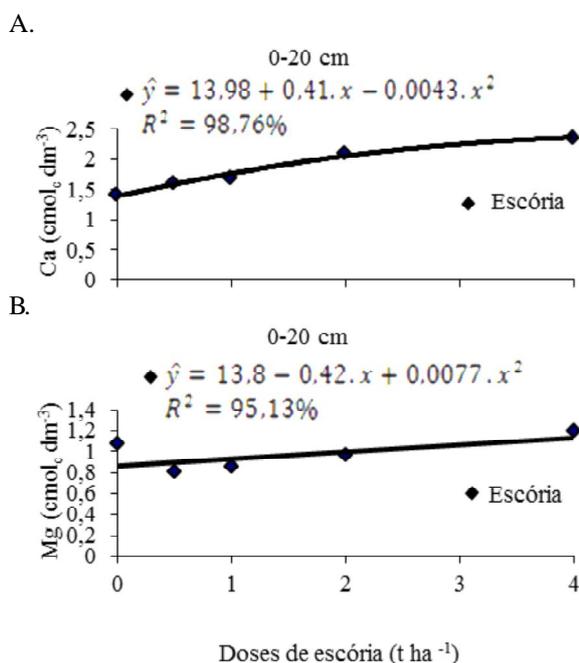


Figura 3. Aumento nos teores de Ca (A) e Mg (B) em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica

A escória siderúrgica não gerou aumento significativo nos teores de K nas duas profundidades estudadas, mas gerou incrementos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de P, Si (Figura 4A e 4B.), Mn (Figura 5A e 5B.) e Zn (Figura 6) na profundidade de 0-20 cm e acréscimo significativo ($P \leq 0,05$) no teor de Mn na profundidade de 20-40 cm. Segundo Kato & Owa (1997) o aumento da disponibilidade de P do solo em função da aplicação de escória siderúrgica pode ter ocorrido em virtude da competição do ânion SiO_4^{-3} com PO_4^{-3} pelos mesmos sítios de adsorção. A correlação significativa ($P < 0,05$) negativa ($r = -0,65^*$) entre a disponibilidade de Si e P no solo, fortalece esta hipótese. Prado et al. (2002) verificaram uma liberação significativa de Zn, Cu, Mn e B em solo tratado com escória siderúrgica em vaso e afirmam que esta liberação poderia ser maior em função da reação lenta que o material apresenta no solo.

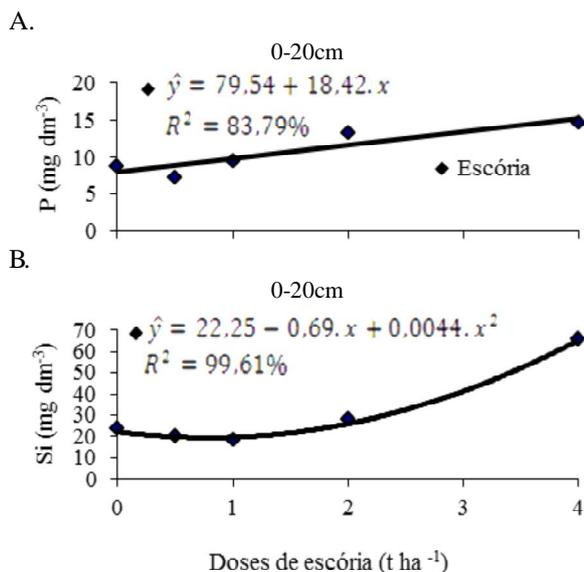


Figura 4. Aumento nos teores de P e Si em solo (0-20 cm) cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica

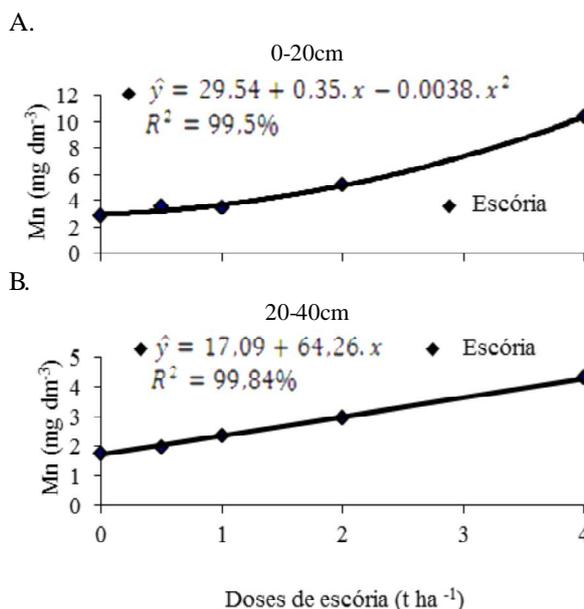


Figura 5. Teores de Mn nas profundidades de 0-20 cm (A) e 20-40 cm (B) em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica

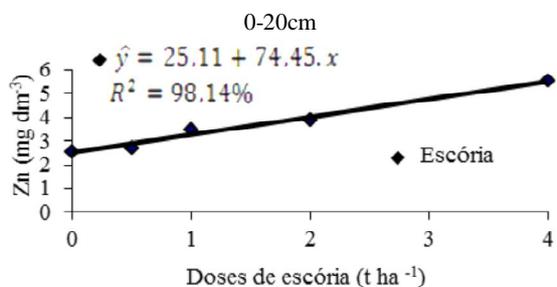


Figura 6. Teor de Zn em solo (0-20 cm) cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica

Constatou-se aumento nos teores de Fe disponível no solo, na profundidade de 20-40 cm, em função das doses de escória

de aciaria (Figura 7), resultado que se deve à composição química da escória de aciaria. Segundo Prado et al. (2004), os efeitos distintos da aplicação da escória de siderurgia sobre a liberação de micronutrientes para o solo podem ser atribuídos, muitas vezes, às variações decorrentes da origem da matéria-prima empregada e do tipo de processo industrial utilizado pela siderúrgica, o que influencia a composição química do resíduo, a que se somam outras variáveis, como a dose, a forma de incorporação e os atributos físico-químicos inerentes a cada solo.

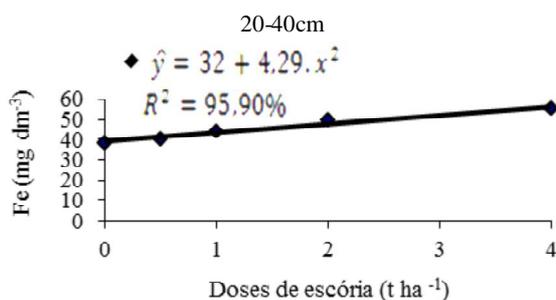


Figura 7. Teores de Fe em solo (20-40 cm) cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica

A aplicação de escória de aciaria e calcário no sulco de plantio não causou problemas de poluição ambiental, considerando-se que não foi detectada a presença de metais pesados Cd, Pb e Ni no solo nem na planta. A utilização de escória siderúrgica como alternativa para correção de solos ácidos, pode ser uma prática viável, tendo em vista os benefícios que este resíduo proporciona à cultura e ao solo; além disso, a escória siderúrgica apresenta, em sua composição, silício, o qual é um dos elementos benéficos que a cana-de-açúcar mais extrai do solo e que pode ter ação direta no acréscimo de produção. Apesar dos fatores mencionados, o fator ambiente também é importantíssimo, haja vista que sua utilização reduz as quantidades que se estão acumulando nos pátios industriais.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de escória siderúrgica promove acréscimo nos teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn e reduz a acidez potencial no solo.
2. A escória siderúrgica promove incremento no teor de Zn nas folhas da cana-planta.
3. A aplicação de escória de siderurgia promove alterações na altura dos colmos e na área foliar da cana-planta.
4. A aplicação de escória siderúrgica não aumenta a disponibilidade de Cd e Pb quando aplicados no sulco de plantio em Argissolo Vermelho-Amarelo, no cultivo da cana-de-açúcar.

LITERATURA CITADA

Accioly, A. M. A.; Furtini Neto, A. E.; Muniz, J. A.; Faquin, V.; Guedes, G. A. A. Pó de forno elétrico de siderurgia como fonte de micronutrientes e contaminantes para plantas de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.35, p.1483-1491, 2000.

Araújo, J. C. T.; Nascimento, C. A. W. A. Redistribuição entre frações e teores disponíveis de zinco em solos incubados com lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, p.635-644, 2005.

Barbosa Filho, M. P.; Zimmermann, F. J. P.; Silva, O. F. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. *Ciência Agrotécnica*, v.28, p.323-331, 2004.

Brasilioli, F. B.; Prado, R. M.; Fernandes, F. M. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. *Bragantia*, v.68, p.381-387, 2009.

Corrêa, J. C.; Büll, L. T.; Crusciol, C. A. C.; Marcelino, R.; Mauad, M. Correção da acidez e mobilidade de íons em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.42, p.1307-1317, 2007.

Deren, C. W.; Glaz, B.; Snyder, G. H. Leaf-tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on Everglades Histosols. *Journal of Plant Nutrition*, v.16, p.2273-2280, 1993.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília: Embrapa Solos/EmbrapaInformática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

EPA-3052. Disponível em: <http://www.epa.gov/epaoswer/hazwaste/test/pdfs/3052.pdf>. 10 abr. 2010.

Firme, D. J. Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia como fosfato natural. Viçosa: UFV, 1986. 55p. Dissertação Mestrado

Kato, N.; Owa, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plant. *Soil Science Plant Nutrition*, v.43, p.329-341, 1997.

Korndörfer, G. H.; Pereira, H. S.; Camargo, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. 2.ed. Uberlândia, GPSI/ICIAG/UFU, 2004. 24p. Boletim Técnico, 1

Madeiros, L. B.; Vieira, A. O.; Aquino, B. F. Micronutrientes e silício nas folhas de cana-de-açúcar: Escória siderúrgica aplicado no solo. *Engenharia Ambiental*, v.6, p.27-37, 2009a.

Madeiros, L. B.; Vieira, A. O.; Aquino, B. F.; Beltrão, N. E. de M. Micronutriente na cana-de-açúcar irrigada: Correção do solo com escória siderúrgica. *Engenharia Ambiental*, v.6, p.447-461, 2009b.

Pires, A. M. M.; Mattiazzi, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na Agricultura. Jaguariúna: EMBRAPA, 2008. 9p. Circular Técnica, 19

Prado, R. M.; Corrêa, M. C. M.; Cintra, A. C. O.; Natale, W.; Silva, M. A. C. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.24, p.536-542, 2002a.

Prado, F. 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*, v.37, p.539-546, 2002b.

Prado, R. M.; Fernandes, F. M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. *STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.18, p.36-39, 2000.

Prado, F. M.; Fernandes, F. M.; Natale, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, p.287-296, 2003.

- Prado, R. M.; Korndorfer, G. H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zeamays L.*) cultivados em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. *Científica*, v.31, p.9-17, 2003.
- Prado, R. M.; Natale, W.; Fernandes, F. M. Liberação de micronutrientes de uma escória de siderurgia aplicada em um Latossolo Vermelho Amarelo. *Revista de Agricultura*, v.79, p.260-274, 2004a.
- Prado, R. M.; Natale, W.; Fernandes, F. M.; Corrêa, M. C. M. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.28, p.197-205, 2004b.
- van Raij, B.; Cantarela, H.; Quaggio, J. A.; Furlani, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônômico/Fundação IAC, 1997. 285p. Boletim Técnico, 100