

MÁRCIO FÉLIX SOBRAL

**ESCÓRIA SIDERÚRGICA E CALCÁRIO NO CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR EM SOLO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO**

**RECIFE – PE
FEVEREIRO – 2010**

MÁRCIO FÉLIX SOBRAL

**ESCÓRIA SIDERÚRGICA E CALCÁRIO NO CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR EM SOLO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

**RECIFE – PE
FEVEREIRO – 2010**

ESCÓRIA SIDERÚRGICA E CALCÁRIO NO CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR EM SOLO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO

MÁRCIO FÉLIX SOBRAL

COMITÊ DE ORIENTAÇÃO

Professor Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento - Orientador

Professora Dr^a.: Karina Patrícia Vieira da Cunha - Corientador

Dissertação defendida e aprovada pela banca examinadora em:

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Clístenes Williams Araújo do Nascimento (UFRPE)

EXAMINADORES:

Prof. Dr. Évio Eduardo Chaves Melo

Prof. Dr. Gustavo Pereira Duda

Prof. Dr. Fernando José Freire

RECIFE – PE
FEVEREIRO, 2010

À minha mãe Catharina e aos meus irmãos

Mário, Marcelo e Mañana

DEDICO

A Catharina Félix Sobral

OFEREÇO

Ao meu pai Mário Sobral (*in memorian*) e

José Félix da Silva (*in memorian*)

MINHA ETERNA GRATIDÃO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, força, “juízo”, muita calma e paciência durante o decorrer do curso;

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo apoio institucional e à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CNPq), pela bolsa de estudos concedida;

Ao meu orientador professor e amigo Clístenes Williams Araújo do Nascimento pela orientação, ensinamentos, compreensão e amizade.

Aos membros da Banca examinadora, pelas sugestões e contribuições para a melhoria deste trabalho;

Aos professores do curso pelos ensinamentos e amizade;

Aos funcionários da Pós-Graduação em Ciência do Solo, Zeca, Socorrinho, Damião entre outros que se dedicaram e ofereceu o melhor durante o mestrado;

Aos meus amigos da turma de mestrado da Pós-Graduação Israel, Fabiana, Raquel, Daniela, Alexandre, Jane, Clayton, Rodolfo pela amizade e atenção durante o curso. Aos companheiros do Laboratório de Fertilidade do Solo Renato, Zil, Fernando, Piaba, Givanildo, Rayana, Francisco, Eriberto, Sr. Josias, Anderson, Vinicius pela atenção, amizade e compreensão durante o período do curso. Aos amigos Karina Cunha, Évio, Carol Biondi pelos momentos agradáveis, pela amizade e conselhos durante o período que estive no convívio deles. A equipe que trabalhou junto durante o período da dissertação Agenor, Xuxo, Bruno, Airon e Vinicius Mendes pelos momentos inesquecíveis de companheirismo, esforço, dedicação, aprendizado e muito trabalho. Enfim, todos tiveram presença marcante e sem dúvidas proporcionaram momentos memoráveis.

Aos grandes amigos Welka Preston e Hailson Alves pela amizade, atenção, conselhos, momentos divertidos que pudemos presenciar ao longo dos anos do curso. Aos amigos de hoje e sempre Francisco Gonçalo e João Paulo pela amizade, diversão, atenção, dedicação e momentos bons dos quais aproveitei ao lado dessas figuras.

À capoeira e a turma que faz parte dos treinamentos professor Gavião, Leila, Companheiro, Camarão, Mical, Guiné, Bananinha, Joanelinha, Contonete, Miúdo, Fofó, Louva-Deus, Aranha e aos demais pela agradável convivência, treinamento e momentos bons.

À minha mãe Catharina, meus irmãos Mário, Marcelo e Mañana, meu sobrinho Dudu, minha afilhada Alice, minha cunhada Stela e C&A, minhas tias Cristina e Afra, minha avó Cecília, meus primos e meus tios Cristovão e Marlúcia por tudo que eles me proporcionam, pelo incentivo, amor e apoio emocional no decorrer desta fase de minha vida;

Aos meus amigos do Centro de Ciências Agrárias da UFAL pela eterna amizade;

À todos que contribuíram de alguma forma para a elaboração deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
Introdução geral.....	7
Referências bibliográficas.....	12
CAPÍTULO I - Escória siderúrgica e calcário no cultivo de cana-de-açúcar em solo da zona da mata de pernambuco.....	
Resumo.....	16
Abstract.....	17
Introdução.....	18
Material e métodos.....	19
Resultados e discussão.....	20
Conclusões.....	23
Referências bibliográficas.....	33
Referências bibliográficas.....	34

Ficha catalográfica

S679e Sobral, Márcio Félix
Escória siderúrgica e calcário no cultivo de
cana-de-açúcar em solo da zona da mata de Pernambuco /
Márcio Félix Sobral. -- 2010.
36 f. : il.

Orientador: Clístenes Williams Araújo do Nascimento.
Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento
de Agronomia, Recife, 2010.
Referências.

1. Silício 2. Contaminação do solo 3. Micronutrientes
4. Metais pesados I. Nascimento, Clístenes Williams Araújo
do, orientador II. Título

CDD 631.4

INTRODUÇÃO GERAL

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene pertencente ao gênero *Saccharum*, da tribo Andropogoneae, família Poaceae (Gramineae). É uma cultura que produz, em curto período, um alto rendimento de matéria verde, energia e fibras, sendo considerada uma das plantas com maior eficiência fotossintética (Lima et al., 2001). É uma planta C4, assim chamada por formar compostos orgânicos com quatro carbonos. É adaptada as condições de alta intensidade luminosa, altas temperaturas e relativa escassez de água (Segato et al., 2006).

A cana-de-açúcar teve sua origem na Nova Guiné e foi levada para o sul da Ásia, sendo utilizada de início, principalmente, em forma de xarope. A propagação da cultura da cana no norte da África e sul da Europa deve-se aos Árabes. Nesse mesmo período, os chineses a levaram para Java e Filipinas. As conquistas árabes no Ocidente disseminaram o cultivo da cana-de-açúcar nas margens do mar Mediterrâneo, a partir do século VIII. Na Europa, a cana-de-açúcar não correspondeu às tentativas de cultivo, devido à cultura ser típica de climas tropicais e subtropicais. No século XIV, continuou a ser importada do Oriente em escala modesta, por toda região mediterrânea. A guerra entre Veneza e os turcos levou à procura de outros centros abastecedores. Desta maneira, surgiram culturas nas ilhas da Madeira e Canárias, implantadas pelos portugueses e espanhóis, respectivamente (Mozambani et al., 2006).

No Brasil, as primeiras mudas de cana-de-açúcar foram trazidas da Ilha da Madeira por Martim Afonso de Souza em 1532, mas há indícios de que o cultivo da cana-de-açúcar seja anterior à época do descobrimento. Em fins do século XVI, os Estados de Pernambuco e Bahia contavam mais de uma centena de engenhos, tendo a cultura em crescente expansão de tal modo que o Brasil, até o fim do século XVIII, liderou a produção mundial de açúcar, com grande penetração no mercado europeu (Mozambani et al., 2006). Este foi o início de uma indústria que encontrou no Brasil, dentre todas as nações que mais tarde tornaram-se produtoras, seu campo mais fértil para uma rápida expansão e perpetuação por quase quinhentos anos sem interrupção (Azania, 2003).

Com a crise do petróleo depois de meados da década de 70, a cultura da cana-de-açúcar passou a receber uma atenção especial, como solução viável para o problema da emergente crise energética, devido sua potencialidade de produção de energia a partir de

fonte renovável (Barela, 2005). À produção de álcool etílico ou etanol a partir desta cultura tornou-se significativa, seja para a utilização direta em motores (álcool hidratado) ou em mistura com a gasolina (álcool anidro). Desde então, o álcool combustível passou a absorver parte da matéria prima antes destilada apenas para o açúcar (Mozambani et al., 2006). Além disso, a crescente preocupação da sociedade mundial com o ambiente vem gerando discussões e medidas na redução do uso de combustíveis fósseis, os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. Diversos países estão buscando minimizar o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto ou pela adição de outros combustíveis para diminuir a carga poluidora. Neste contexto, cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando grande importância no cenário agrícola brasileiro e um futuro promissor no cenário mundial (Maule et al., 2001).

Segundo a Conab (2009), a área de cana-de-açúcar que será colhida destinada à atividade sucroalcooleira, safra 09/2010, está estimada em 7.531 mil hectares, distribuídas em todos estados produtores. A previsão para produção total de cana moída é de 612.211,20 mil toneladas, no qual que 45,08% destinado à produção de açúcar e 54,92% destinado à produção de álcool, sendo que 70,42% são de álcool hidratado e 29,58% são de álcool anidro.

No Brasil, o cultivo de cana-de-açúcar ocupa grande extensão territorial, sendo realizado em vários tipos de solos, sob influência de diferentes climas (DIAS, 1997). É importante salientar, porém, que vários fatores podem interferir na produção e maturação da cultura da cana-de-açúcar, sendo os principais as interações edafoclimáticas, o manejo da cultura e a cultivar escolhida (CESAR et al., 1987).

Os solos tropicais, normalmente, apresentam baixo pH, alto teor de Al, baixa saturação por bases e alta capacidade de fixação de P (Matichenkov & Calvert, 2002). Desta maneira, em muitos casos, faz-se necessário a prática da calagem, na qual proporcionar benefícios bem conhecidos na agricultura, atuando principalmente no fornecimento de cálcio e magnésio, correção da acidez do solo, neutralização dos elementos tóxicos como alumínio e manganês e, no aumento da disponibilidade de nutrientes.

O calcário é o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo no Brasil. Entretanto, a utilização de escória de siderurgia para a mesma finalidade vem

sendo uma alternativa viável (Amaral et al., 1994), a qual possui como componentes neutralizantes os silicatos de cálcio e magnésio.

As escórias de siderurgia são subprodutos da indústria do ferro e do aço, tendo como seus constituintes principais os silicatos de cálcio e de magnésio (Malavolta et al., 2002). Esses resíduos da metalurgia ocorrem do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1900 °C. Neste processo, uma carga composta por minério de ferro, como a hematita (Fe_2O_3), a limonita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou a magnetita (Fe_3O_4); carvão coque e um fundente, calcário (CaCO_3) é introduzida na parte superior do forno e, através da ação térmica, é obtido o ferro-gusa e a escória (Madeiros et al., 2009).

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. Com a aplicação da escória, ocorre a correção da acidez do solo, tendo em vista a ação do silicato de cálcio. A presença de base química SiO_3^{-2} , promove reações químicas no solo semelhante ao calcário, como aumento do pH e precipitação de Al e Mn tóxicos (Prado & Fernandes, 2001), com o benefício adicional de promover aumento dos teores disponíveis de Si no solo.

Apesar da escória de siderurgia ter um destino viável agronomicamente e estar disponível no mercado brasileiro, que nas últimas décadas vem se acumulando com o crescimento do parque siderúrgico nacional (Prado & Fernandes, 2000), essa tem sido pouco comercializada para esse fim (Quaggio, 2000). Além dos benefícios às culturas, existe a possibilidade da reciclagem de grande parte desse resíduo, contribuindo para diminuir os problemas ambientais de acúmulo desse material (Prado et al., 2003).

Uma das culturas que apresenta potencial para a utilização de escória siderúrgica, devido a seu histórico na reciclagem de resíduos, é a cana-de-açúcar. 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., 2009; Prado & Fernandes, 2000). Prado et al. (2003) verificaram que a aplicação da escória siderúrgica e do calcário, em pré-plantio, promoveu efeito residual positivo na produção da soqueira da cana-de-açúcar. Prado e Fernandes (2000), em seus estudos com aplicação de calcário e escória siderúrgica com cana-de-açúcar, em vaso, obtiveram que além da correção da acidez do solo, ambos corretivos aumentaram os teores de Ca+Mg do solo de maneira semelhante, não diferenciando-se entre si. Barbosa Filho et al. (2004) obtiveram resultados positivos quanto à absorção de Si e

produtividade de grãos, quando aplicaram doses de escória no solo cultivado com arroz em terras altas.

Para o estabelecimento da cana-de-açúcar, além dos elementos essenciais, outros podem ser benéficos, tal como o silício, inclusive contribuindo para a sustentabilidade da produção agrícola (Korndörfer et al., 2002). O silício é o segundo maior elemento em abundância na crosta terrestre e acumula-se nos tecidos de todas as plantas, representando entre 0,1 a 10% da matéria seca das mesmas (Korndörfer et al., 2004).

O óxido de silício (SiO_2) é o mineral primário mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilo-minerais; todavia, nos solos tropicais, altamente intemperizados, esses minerais contendo Si são quase inexistentes ou ocorrem na forma de quartzo, opala e outras formas nas quais o Si não é disponível às plantas (Barbosa filho et al., 2001). O silício está presente na solução do solo como ácido monossilícico [$\text{Si}(\text{OH})_4$], a maior parte em forma não dissociada, a qual é prontamente disponível para as plantas (Nascimento et al., 2009). No entanto, devido ao fenômeno da dessilicização dos solos, o Si é continuamente perdido pelo processo de lixiviação. Os solos tropicais e subtropicais possuem, geralmente, baixos teores de Si disponíveis para as plantas. Estes solos, em determinadas circunstâncias, podem se beneficiar da adubação com Si (Korndörfer et al., 2002). As principais fontes de ácido monossilícico para a solução do solo são: decomposição de resíduos orgânicos; dissociação de ácidos polissilícicos; dessorção de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al; dissolução de minerais cristalinos e não-cristalinos; adição de fertilizantes silicatados e água de irrigação. Os principais drenos incluem a precipitação do Si em solução; a polimerização de ácidos monossilícicos, formando ácido polissilícico, lixiviação, adsorção em óxidos e hidróxidos de Fe e Al, além da absorção pelas plantas (Nascimento et al., 2009).

A resposta da cana-de-açúcar ao silício é favorável, particularmente nos solos pobres com esse elemento. Ross et al. (1974) citam uma exportação de até 408 kg ha^{-1} de SiO_2 para uma produtividade de 74 t ha^{-1} de cana-de-açúcar (folhas + colmos). Além desse efeito na produtividade, o Si está normalmente associado à resistência das plantas a fatores bióticos e abióticos, como ataques de pragas e doenças e resistência ao estresse hídrico (Korndörfer, 2006), favorece a fotossíntese, por interferir na arquitetura das plantas (Deren et al., 1993) e até mesmo no metabolismo. O efeito da proteção mecânica do silício nas plantas é atribuído, principalmente, ao depósito na parede celular na forma de sílica amorfa. A acumulação de sílica nos tecidos foliares provoca a

formação de uma dupla camada de sílica cuticular, a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor (Vitti et. al, 2006). Korndörfer et al. (2002) afirmam que a adubação com Si pode aumentar a produtividade da cana-de-açúcar em consequência da maior eficiência fotossintética, resistência ao ataque de pragas e doenças e maior tolerância à falta de água durante os períodos de baixa umidade do solo.

À disposição final da escória siderúrgica nos campos agrícolas desponta como uma alternativa viável para este resíduo tendo em vista os benéficos que o mesmo traz para as culturas e para o solo. Além disso, a redução desse resíduo nos pátios das indústrias siderúrgicas reduz ou evita possíveis problemas de contaminação ambiental.

Diversos trabalhos têm relatado o uso da escória siderúrgica como um corretivo da acidez do solo, no entanto, deve-se ter cautela em utilizar esses resíduos siderúrgicos, haja vista que os mesmos podem conter metais pesados e assim contaminar os solos. Diante do que foi exposto o presente trabalho teve como objetivo avaliar à disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de cálcio e magnésio, por meio da aplicação de calcário dolomítico, no cultivo da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, A. S. et al. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, p. 1351-1358, 1994.

AZANIA, A. A. P. M. **Influência de subprodutos da indústria alcooleira nos atributos químicos do solo e em plantas de cana-de-açúcar, guanxuma e capim-braquiária**. 2003, 81 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001.

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**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, 2004.

BARELA, J. F. **Seletividade de herbicidas para a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) afetada pela interação com nematicidas aplicados no plantio**. 2005, 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRASSIOLI, F. B.; PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Avaliação agronômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 381-387, 2009.

CESAR, M. A. A. et al. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais em elevar o teor de fósforo no caldo de cana-de-açúcar (cana-planta), visando o processo industrial. **STAB: Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 6, p. 32-38, 1987.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – **CONAB 2009**: Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2009/2010, 3º levantamento, dezembro de 2009. Brasília: Companhia Nacional do Abastecimento, 2009.

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.

DIAS, F. L. F. **Relação entre a produtividade, clima, solos e variedades de cana-de-açúcar, na Região Noroeste do Estado de São Paulo**. 1997, 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo. Piracicaba.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by plant. **Plant Soil**, v. 23, n. 1, p. 79-95, 1965.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2004. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. **STAB: Açúcar e Álcool e Subprodutos**. v. 21, n. 2, p. 6-9. 2002.

LIMA, M. A. C. et al., Morfogênese *in vitro* e suscetibilidade de calos de variedades nacionais de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) a agentes seletivos utilizados em sistemas de transformação genética. **Revista brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 24, n. 1, p. 73-77, 2001.

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**, Espírito Santo, v. 6, p. 27-37, 2009.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL-GOMES, F.; ALCARDE, J. C. **Adubos e adubações:** adubos minerais e orgânicos, interpretação da análise do solo, prática da adubação. São Paulo: Nobel, 2002. 220 p.

MATICHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists** Florida and Louisiana Divisions, v. 22, p. 21-30, 2002.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301. 2001.

MOZAMBANI, A. E et al. M. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et. al. (Orgs). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 11-18.

NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; RODRIGUES, F. A. Silício e tolerância de plantas a metais pesados e doenças. In: RIBEIRO, M. R. et al. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. v. 6, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009, p. 273-318.

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, R. M.; FERNANDES, F. M. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 25, p. 201-209, 2001.

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**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.

QUAGGIO, J. A. **A acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2000. 111p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1991. 343 p.

ROSS, L. et al. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. In: International Congress the Society of Sugar Cane Technologist. 15, 1974, Durban, **Proc.**, v. 15 n. 2 p. 539-542. 1974.

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et. al. (Orgs). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p.19-36.

VITTI, G. C. et al. Micronutrientes na cultura da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. V. et. al. (Orgs.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 121-138.

CAPÍTULO I

ESCÓRIA SIDERÚRGICA E CALCÁRIO NO CULTIVO DE CANA-
DE-AÇÚCAR EM SOLO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO

ESCÓRIA SIDERÚRGICA E CALCÁRIO NO CULTIVO DE CANA-DE-AÇÚCAR EM SOLO DA ZONA DA MATA DE PERNAMBUCO

Resumo: O desenvolvimento da siderurgia no Brasil produz diversos tipos de escórias, as quais muitas vezes se acumulam nos pátios das indústrias tornando-se um problema ambiental. Sua disposição final em campos agrícolas é uma prática que pode minimizar a acumulação destes resíduos e ao mesmo tempo fornecer nutrientes às plantas e corrigir a acidez dos solos. No entanto, há necessidade de avaliar quais riscos estes resíduos podem gerar ao ambiente. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de Si, nutrientes (Ca, Mg, P, Fe, Mn, Zn, Cu, Ni) e metais pesados (Cd e Pb) para cana-de-açúcar. O experimento foi realizado na Usina Santa Teresa, município de Goiana-PE, em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Os tratamentos adotados foram doses de escória de aciaria e calcário dolomítico (0; 0,5; 1,0; 2,0 e 40 t ha⁻¹), aplicados no sulco de plantio, no qual posteriormente, foi semeado a cana-de-açúcar (var. RB92579). Ao término do experimento, foram realizadas as avaliações do solo, planta e parâmetros industriais. A escória bem como o calcário promoveram alterações nas propriedades químicas do solo e em algumas variáveis analisadas na planta. A escória aumentou significativamente ($P \leq 0,05$) nos teores de Ca, Mg, P, Si, Fe, Mn e Zn, no solo, bem como reduziu a acidez potencial. Quanto às características industriais aumentou a área foliar e altura dos colmos, bem como, o teor de Zn nas folhas. O Calcário proporcionou aumento do pH, reduziu o teor de Al e aumentou o teor de Na no solo. Houve ainda acréscimo nos teores de Ca, Mg, Cu, Zn e redução da acidez potencial. Proporcionou também um teor significativo de Cu nas folhas de cana-de-açúcar. Não foi detectado nas análises de folhas de cana-de-açúcar e do solo a presença de Ni, Cd ou Pb, indicando que a utilização de escória de aciaria não causou problemas de contaminação.

Palavras-chave: Silício; contaminação de solo; micronutrientes; metais pesados.

STEEL SLAG AND LIME FOR SUGARCANE CULTIVATION IN PERNAMBUCO

Abstract: Several types of slag 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. The work was carried out to study the effects of the final disposal of a steel slag compared to lime 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 steel slag and lime 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 steel 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 foliar área and stems height as well as in the Zn concentration in the leaves. Lime promoted increase of pH, and decrease in the concentrations of Al and increase in the Na concentrations. Nickel, Cd, and Pb were not detected neither in the soil nor in the plant. This indicates that the steel slag tested presented no soil contamination with these heavy metals.

Key words: Silicion; contamination of soil; micronutrients; heavy metals.

INTRODUÇÃO

A crescente atividade siderúrgica no Brasil é uma importante produtora de diversos tipos de escórias, produzindo mais de 3 milhões de toneladas por ano (Prado et al., 2001), os quais muitas vezes são acumulados nos pátios das indústrias gerando um problema ambiental.

Dentre as opções de disposição final, a reutilização de resíduos é, sem dúvida, a opção mais interessante sob o ponto de vista econômico, 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 são os aterros, que na maioria das vezes não atendem aos padrões ambientais de qualidade. Mesmo os aterros sanitários controlados, ambientalmente corretos, podem não representar a melhor solução (Pires & Mattiazzo, 2008), considerando as restrições impostas aos aterros e considerando o complexo processo de licenciamento dessas destinações (Alves, 2001).

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. Sua disposição nos campos agrícolas minimizaria o acúmulo deste resíduo nos pátios das indústrias. No entanto, apesar desses efeitos benéficos, este resíduo pode conter metais pesados em teores relativamente elevados, o que pode resultar em contaminação de solos (Araújo & Nascimento, 2005).

Uma das culturas que apresenta potencial para a utilização de escória siderúrgica, devido a seu histórico na reciclagem de resíduos, é a cana-de-açúcar. Além deste aspecto, a cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma das melhores opções dentre as fontes de energia renováveis, apresentando um futuro promissor no cenário mundial, haja vista que o uso de combustíveis os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera, vem gerando grandes preocupações ambientais na sociedade atual. Vários países estão buscando reduzir ao máximo o uso desses combustíveis, seja pela substituição do produto ou pela adição de outros combustíveis para diminuir a carga poluidora (Maule et al., 2001).

Neste cenário, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a disposição final da escória de aciaria de forno elétrico e o fornecimento de cálcio e magnésio, por meio da aplicação de calcário dolomítico, no cultivo da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Local e implantação do experimento

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).

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

A escória siderúrgica que foi utilizada no experimento (pó de aciaria de forno elétrico) foi passado em peneira de 2 mm e caracterizado quimicamente segundo métodos descritos pela Embrapa (1999), Korndörfer et al. (2004) para determinação do silício e programa de aquecimento em forno de microondas pelo método EPA 3052 para determinação dos metais pesados (Tabela 2).

Os materiais utilizados foram calcário dolomítico e escória siderúrgica em doses de 0,0; 0,5; 1; 2; e 4 t ha⁻¹. A adubação 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 (doses de calcário ou escória) foram aplicados no sulco de plantio (Figura 1). Em seguida foi realizado o plantio da cana-de-açúcar nas linhas de cultivo da área experimental (Figura 1). Cada parcela foi constituída por cinco linhas de cultivo (dez metros de comprimento), sendo o espaçamento adotado entre linhas de 1 metro. A área experimental considerada para coleta dos dados foi representada pelas três linhas centrais.

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)	198,0	-
SiO ₂ solúvel (g kg ⁻¹)	6,3	-
P ₂ O ₅ (g kg ⁻¹)	2,7	-
K ₂ O (g kg ⁻¹)	1,4	-
CaO (g kg ⁻¹)	131,0	374,0
MgO (g kg ⁻¹)	75,0	95,0
Fe (g kg ⁻¹)	20,1	-
Zn (g kg ⁻¹)	0,96	0,004
Cu (g kg ⁻¹)	0,24	0,002
Mn (g kg ⁻¹)	0,8	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 (%)	67,4	94,0
RE (%)	66,4	81,0
PRNT (%)	45,0	76,0



Figura 1. Aplicação de doses crescentes de calcário ou escória no sulco de plantio (A) e, plantio da cana-de-açúcar nos sulcos (B) da área experimental localizada em Goiana-PE.

Coleta e determinação química da cana-de-açúcar

Antes da colheita da cana-de-açúcar, foram coletada folhas para análise química. Retirou-se a folha +3 da planta (10 folhas por parcela), nas quais foram acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados, e levadas ao laboratório para análise

foliar. Esse material vegetal após seco em estufa a 65°C 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). Para determinação dos demais elementos procedeu-se digestão nitro-perclórica conforme metodologia da Embrapa (1999). Foram determinados P e Si por colorimetria, K⁺ por fotometria de chama, Ca, Mg, Cu, Zn, Mn, Fe, Cd, Pb e Ni por espectrofotometria de absorção atômica.

Os parâmetros industriais analisados foram os seguintes: 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 os demais parâmetros industriais foram determinados pela própria usina. Além dessas variáveis industriais, foram avaliadas a altura dos colmos (ALTC), número de colmos (NCOL), área foliar (AFOL) e diâmetro dos colmos (DMC).

Coleta e determinação química do solo

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

Foram coletadas 8 amostras por linha, as quais foram para formar uma amostra composta. Esta amostra 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). Foram determinados também Cu²⁺, Zn²⁺ e Mn²⁺, disponíveis nos tratamentos, extraídos com Mehlich-1. Si e P foram determinados 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; Ca, Mg, Al e H+Al por titulometria. Todas as análises químicas foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UFRPE.

Delineamento experimental

O experimento foi realizado em blocos ao acaso, constituído por nove tratamentos, sendo quatro doses de calcário, quatro doses de escória siderúrgica e um tratamento somente com NPK, com quatro repetições, totalizando 36 parcelas.

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise estatística por meio de ajustes de equações de regressões e correlações de Pearson pelo programa estatístico SAEG v.9.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As doses crescentes de escória de aciaria e de calcário não proporcionaram aumento significativo nas variáveis industriais analisadas (Figura 2). Brassioli et al. (2009), em seus estudos verificaram que a escória siderúrgica foi superior ao calcário, quanto à produção de colmos do terceiro até o quinto ciclo de produção. Segundo Rosseto et al. (2004), os acréscimos na produtividade da cana-de-açúcar em resposta à calagem são esporádicos. É importante observar que no presente estudo apenas um ciclo da cana-de-açúcar (cana-planta) foi avaliado. É possível que nos ciclos seguintes a resposta dos tratamentos seja melhor expressa. Quando ocorreram respostas a aplicação de calcário nos experimentos relatados na literatura, foram obtidos em condições de severa acidez, na presença de alumínio em níveis tóxicos e, principalmente, na ausência de teores adequados de cálcio e magnésio. O efeito residual da escória siderúrgica na socaria poderá ser positivo quando 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 comparada com a cana-planta, tendo em vista que não houve diferença entre os dois materiais na cana-planta e na primeira soqueira.

Para as variáveis de altura de colmos e área foliar em cana-de-açúcar houve aumentos significativos ($P \leq 0,05$) quando o solo foi tratado com escória siderúrgica, no entanto para o tratamento com calcário não houve efeito significativo (Figura 3). Isto pode indicar um efeito do Si sobre essas variáveis, não obtidas apenas pela elevação do pH, como ocasionado pelo calcário. 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.

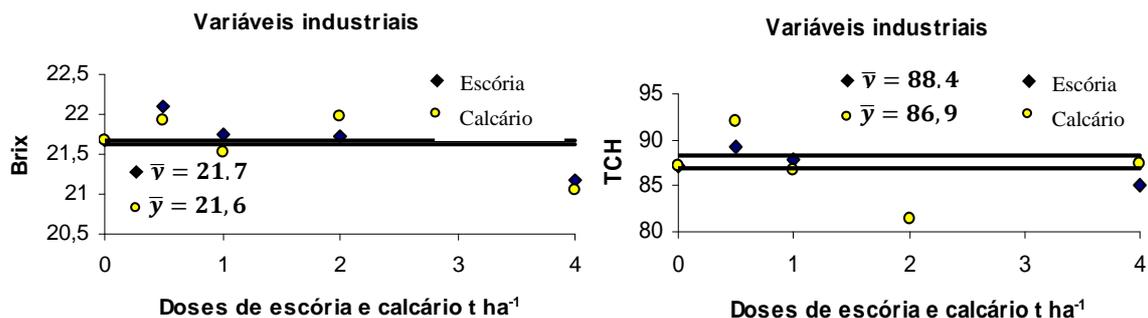


Figura 2. Variáveis industriais analisadas em cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica e calcário.

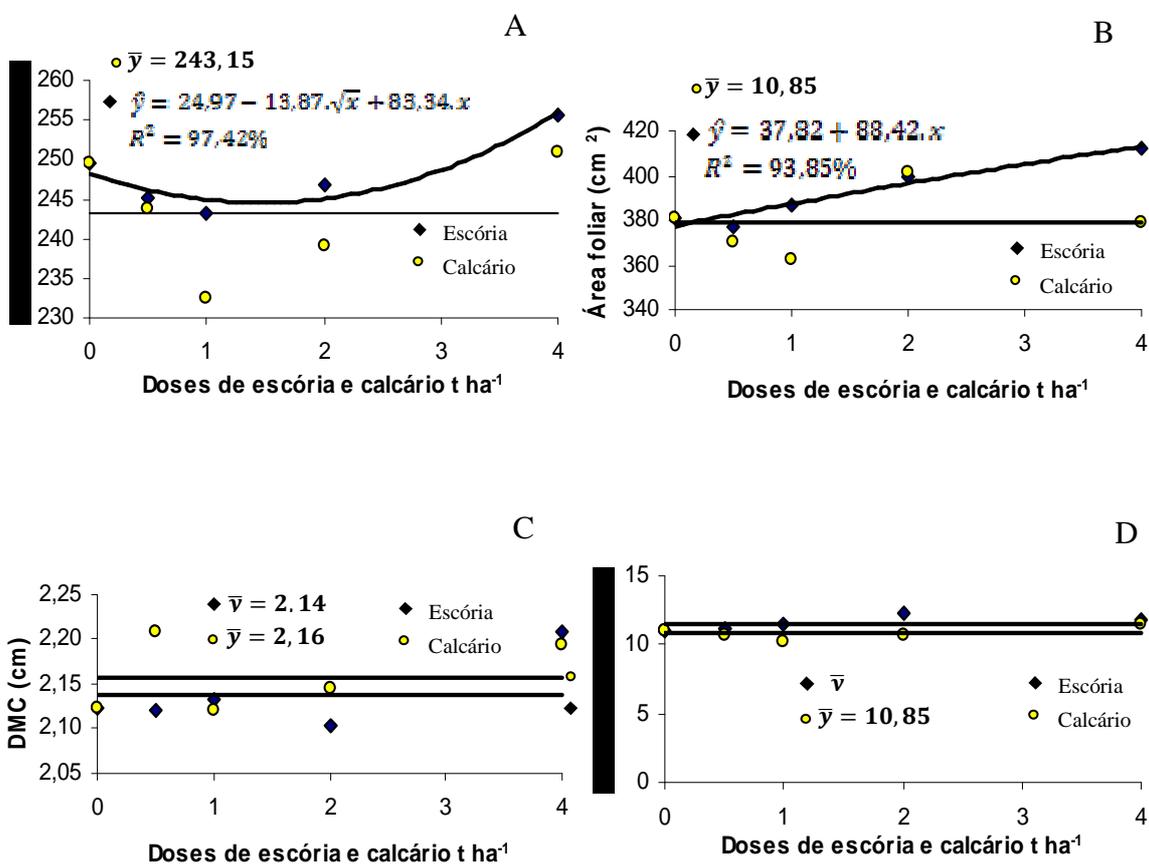


Figura 3. Variáveis de altura de colmos (A), área foliar (B), diâmetro médio dos colmos (C) e números de colmos (D) analisados em cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica e calcário.

Em relação à análise do tecido foliar houve incremento significativo ($P \leq 0,05$) apenas nos teores de Zn e Cu em cana-de-açúcar cultivada em solo tratados com escória siderúrgica e calcário, respectivamente (Figura 4). Mesmo com o aumento, estes teores ficaram abaixo da faixa de teores adequados de micronutrientes na cana-de-açúcar, segundo Raij et al., 1997. Madeiros et al. (2009), trabalhando com escória siderúrgica em cana-de-açúcar, variedade RB72454, verificaram que houve um acréscimo na concentração de Zn de 10,14% em relação à testemunha. Não houve incrementos nos teores de Mn e Fe (Figura 4), P, Si, K e Na (Figura 5) nas folhas de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica e calcário. Não foi detectado a presença de Ni, Cd e Pb nas folhas de cana-de-açúcar cultivado em solo tratado com calcário e escória de aciaria. Prado et al. (2003), verificaram que houve incremento nos teores de Ca, Mg e P em folhas totais da soqueira de cana-de-açúcar na época da colheita para ambos os corretivos. Os mesmos autores alertam que a amostragem das folhas das plantas pode ser uma fonte importante de variação porque o tipo de folha define a sua idade, e tal fato pode influir nas interpretações do estado nutricional da planta.

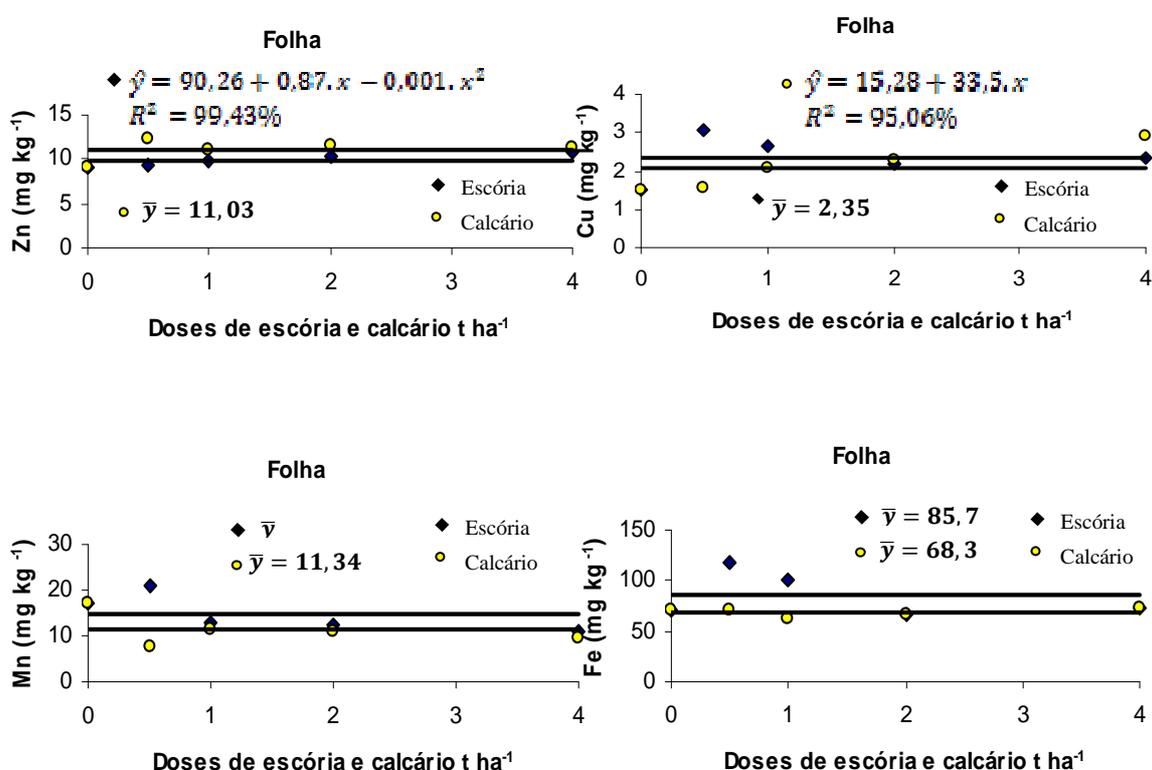


Figura 4. Teores de Zn, Cu, Mn e Fe em folhas de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica e calcário.

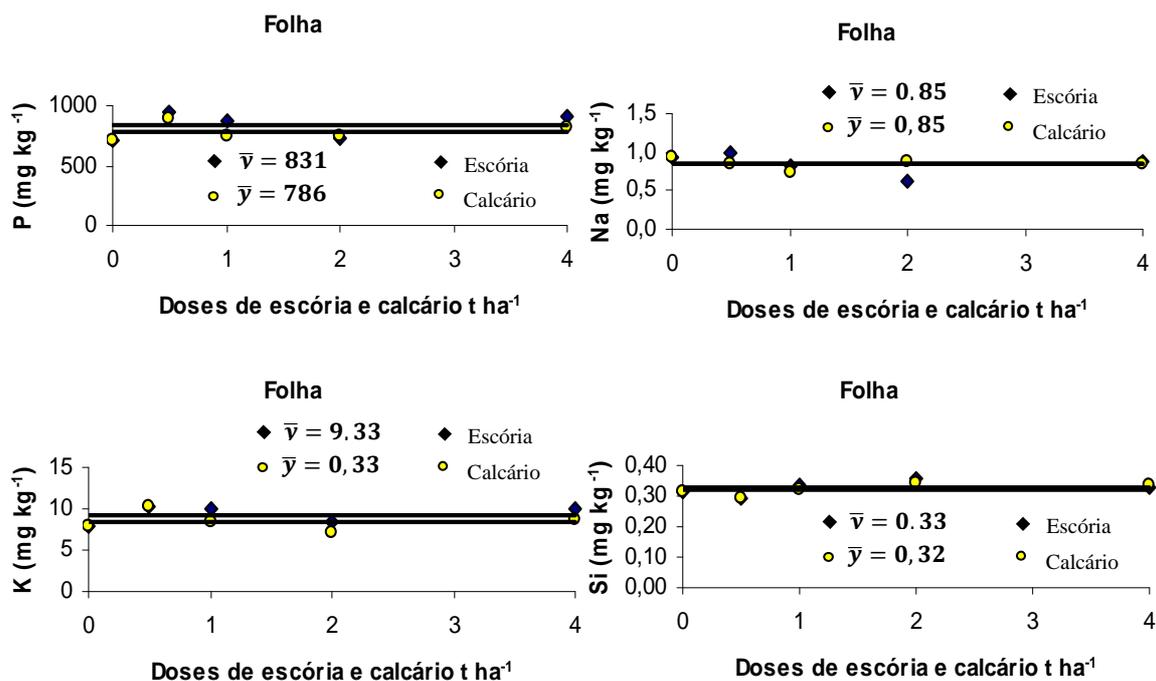


Figura 5. Teores de P, Na, K e Si em folhas de cana-de-açúcar cultivada em solo tratado com escória siderúrgica e calcário.

As aplicações de escória e calcário proporcionaram aumentos significativos ($P \leq 0,05$) em algumas variáveis analisadas no solo. A aplicação de calcário resultou no aumento significativo ($P \leq 0,05$) do pH do solo na profundidade de 0-20 cm, enquanto no tratamento com escória não houve aumento significativo. Prado & Fernandes (2000) obtiveram aumento no pH do solo em função da aplicação de calcário e escória siderúrgica em solo cultivado com cana-de-açúcar, em vaso. Em ambos os tratamentos, na profundidade de 20-40 cm, não houve aumento significativo do pH do solo, mas a média obtida com a aplicação de calcário foi superior ao pH do solo tratado com escória siderúrgica (Figura 6).

A aplicação de calcário proporcionou uma redução significativa ($P \leq 0,05$) no teor de Al disponível no solo na profundidade de 0-20 cm, mas não houve efeito na profundidade de 20-40 cm. As doses de escória não proporcionaram nenhum efeito significativo nas duas profundidades estudadas (Figura 6).

As doses de escória siderúrgica promoveram uma redução significativa ($P \leq 0,05$) na acidez potencial (H+Al) na profundidade de 0-20 cm, porém não houve efeito significativo para as doses de calcário aplicadas no solo. Na profundidade de 20-40 cm houve redução significativa ($P \leq 0,05$) da H+Al em função das doses de calcário, por

outro lado as doses de escória não proporcionaram redução significativa da acidez potencial (Figura 7). Barbosa Filho et al. (2004), verificaram que houve uma 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 e do calcário calcítico em cana-de-açúcar, Prado et al. (2003), verificaram que os dois corretivos apresentaram resultados semelhantes ao reduzirem a acidez potencial trocável nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm.

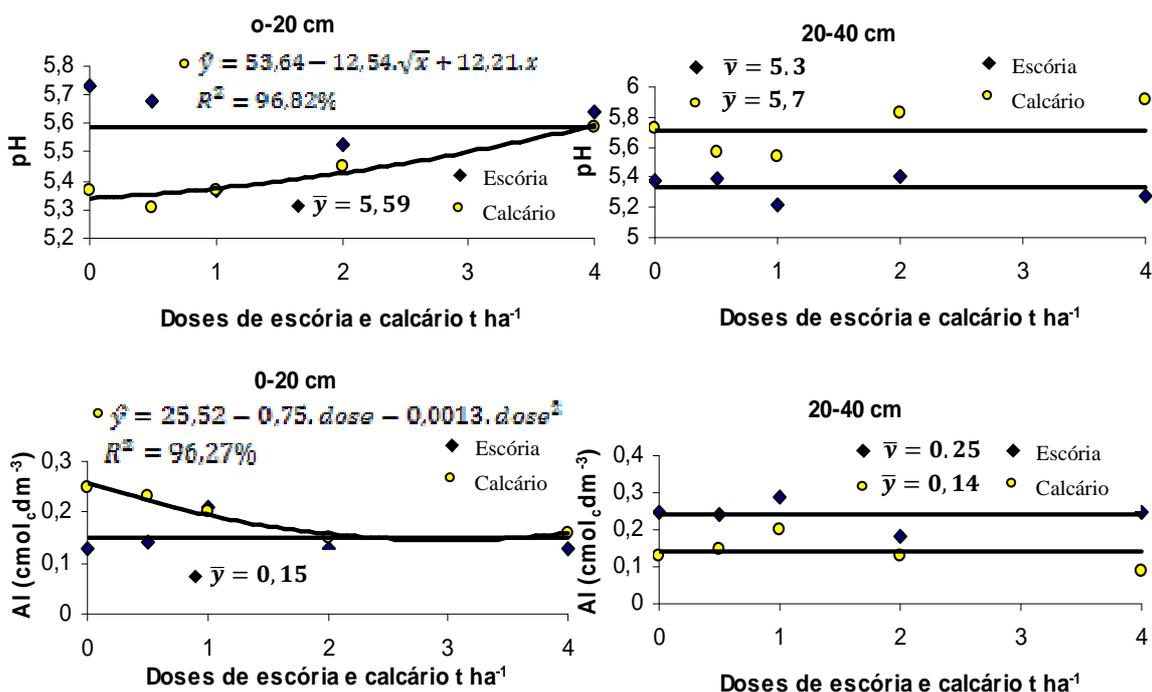


Figura 6. Valores de pH e redução nos teor de Al em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com os corretivos.

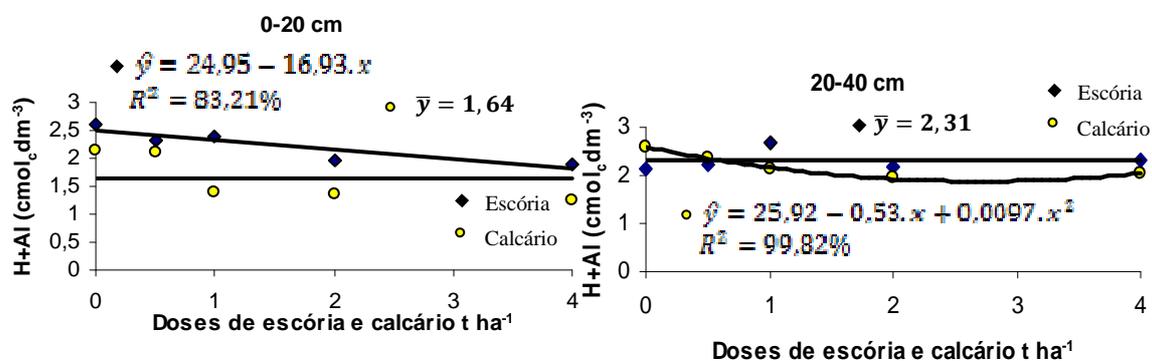


Figura 7. Redução da acidez potencial em função das doses de corretivos em solo cultivado com cana-de-açúcar.

As doses de escória e calcário proporcionaram incrementos nos teores de Ca do solo nas duas profundidades. Houve aumentos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de Mg e Ca (Figura 8) em função das doses de escória siderúrgica aplicadas no solo na profundidade de 0-20 cm, mas não houve esse incremento na profundidade de 20-40 cm. Por outro lado as doses de calcário proporcionaram um aumento significativo ($P \leq 0,05$) de Ca na profundidade de 20-40 cm, mas não houve esse incremento na camada de 0-20 cm (Figura 8). 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).

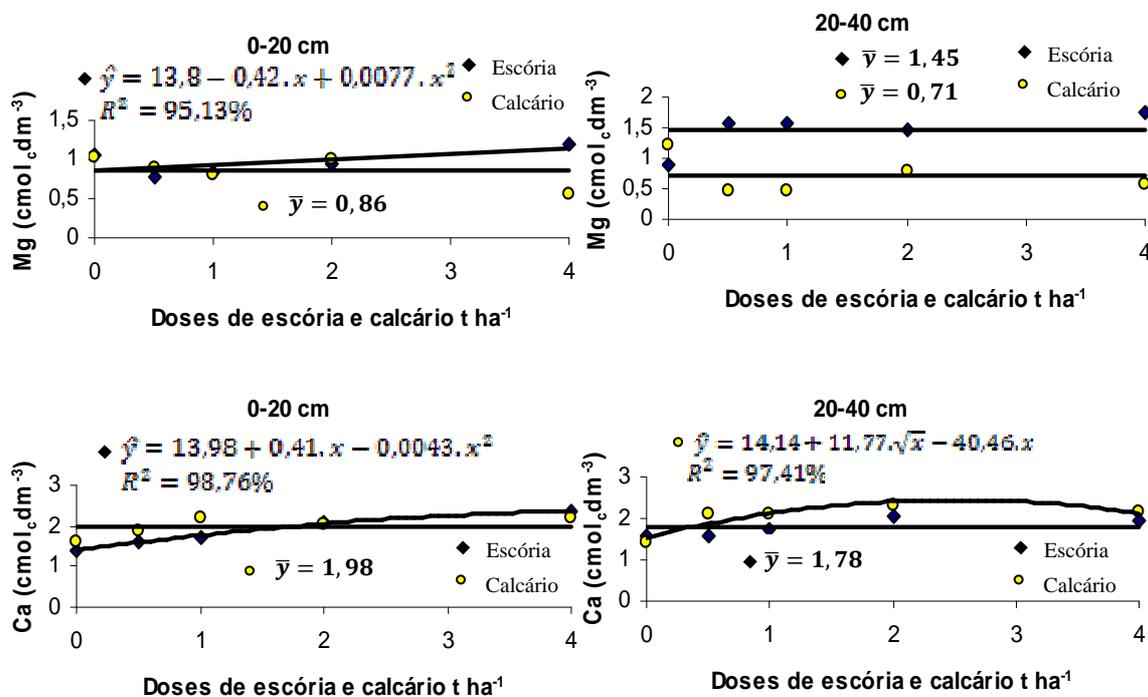


Figura 8. Aumento nos teores de Ca e Mg, nas duas profundidades estudadas, em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica e calcário.

A redução da H+Al no solo também foram verificados por Barbosa Filho et al. (2004). A reação benéfica do calcário no solo, possibilita elevar os teores de Ca^{+2} e Mg^{+2} , como também neutralizar à acidez do solo. O calcário ao reagir com a água do solo libera hidroxilas (OH^-) e íons bicarbonatos (HCO_3^-), os quais reagem com os componentes da acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), diminuindo seus valores no solo, ocasionando aumento do valor pH (Moraes et al., 2008). Houve correlação significativa

($P \leq 0,05$) positiva entre os teores de Ca+Mg e pH do solo tratado com calcário ($r=0,68^*$) e ($r=0,47^*$) nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente, justificando a elevação do pH. Os efeitos no aumento do pH e na redução da acidez potencial do solo são perfeitamente explicado pela presença da base química CO_3^{2-} presente no calcário (Prado & Fernandes, 2000).

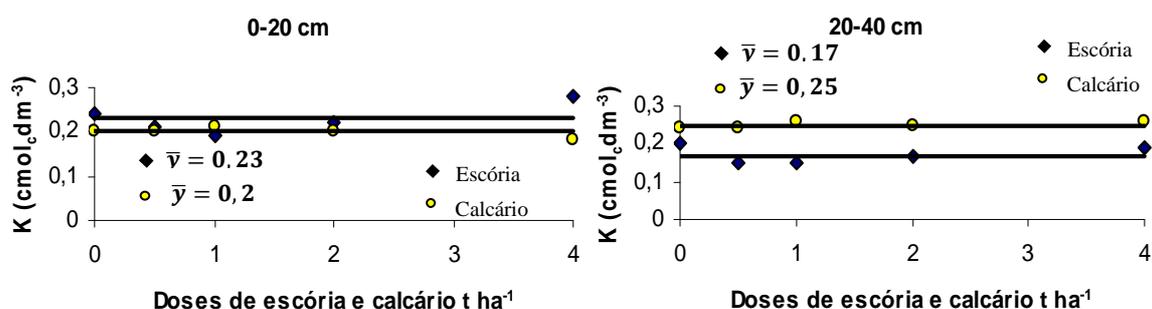


Figura 9. Valores de K em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica e calcário.

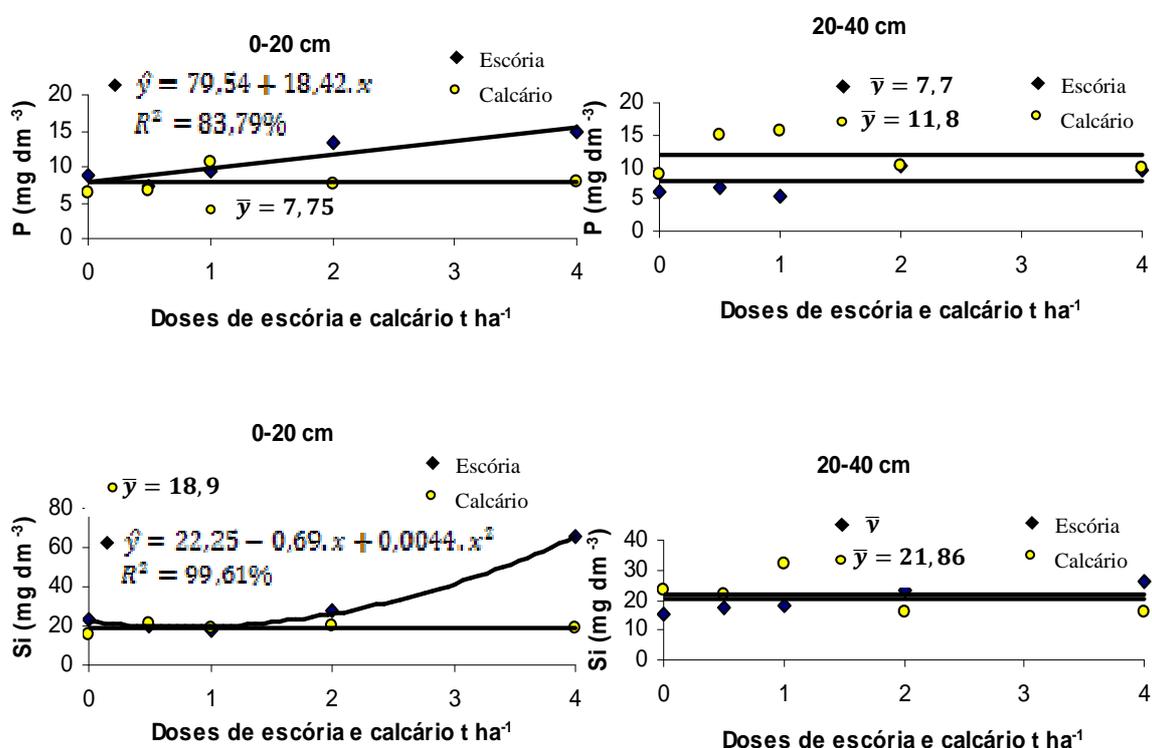


Figura 10. Aumento nos teores de P e Si em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica e calcário.

Tanto a escória siderúrgica quanto o calcário não promoveram aumento significativo nos teores de K nas duas profundidades estudadas (Figura 9), mas promoveram incrementos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de P, Si (Figura 10), Zn e Mn (Figura 11) na profundidade de 0-20 cm e acréscimo significativo ($P \leq 0,05$) no teor de Mn na profundidade de 20-40 cm para solo tratado com escória siderúrgica. Segundo Kato e Owa (1997) o aumento da disponibilidade de P do solo em função da aplicação de escória siderúrgica pode ter ocorrido devido a competição do ânion SiO_4^{-3} com PO_4^{-3} pelos mesmos sítios de adsorção. A correlação significativa ($P \leq 0,05$) negativa ($r = -0,65^*$) entre a disponibilidade de Si e P no solo fortalece essa hipótese. Prado et al. (2002) verificaram que houve uma liberação significativa de Zn, Cu, Mn e B em solo tratado com escória siderúrgica, em vaso. Os mesmos autores afirmam que essa liberação poderia ser maior, em função da reação lenta que esse material apresenta no solo. As doses de calcário não promoveram acréscimos significativos nos teores de P, Si (Figura 10), Zn e Mn (Figura 11), mas promoveram incrementos significativos ($P \leq 0,05$) nos teores de Na e Cu nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente (Figura 12).

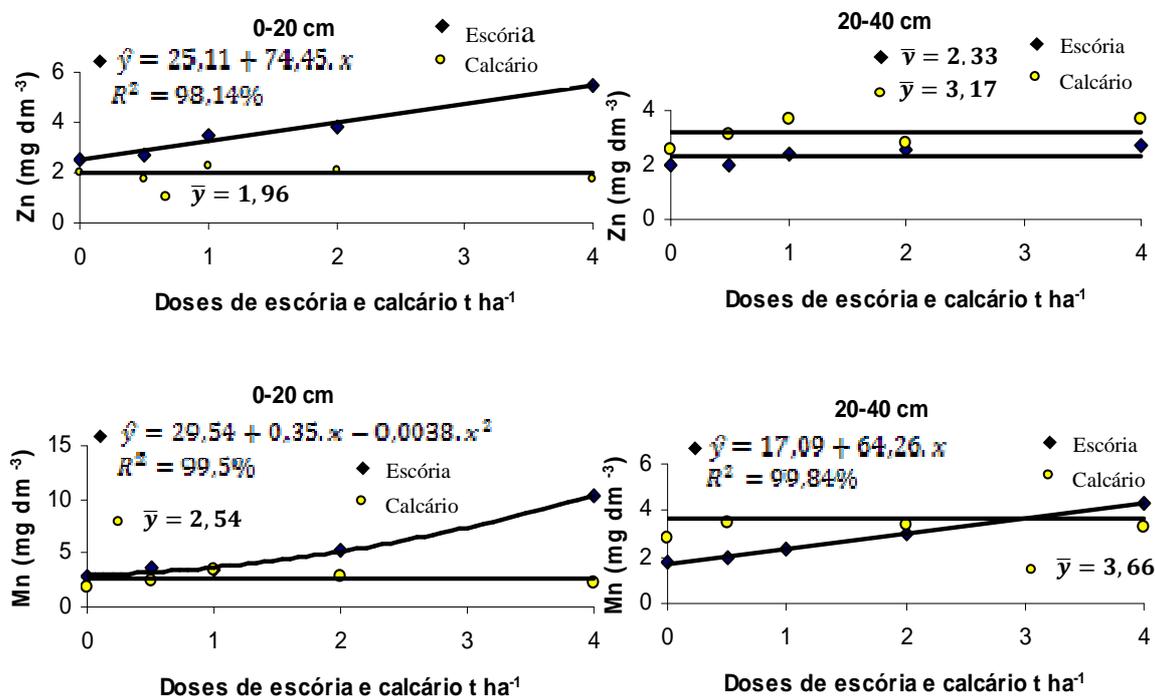


Figura 11. Aumento nos teores de Zn e Mn em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica e calcário.

Houve aumento nos teores de Fe disponível no solo na profundidade de 20-40 cm em função das doses de escória de aciaria (Figura 12), este resultado deve-se a 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 pode ser atribuído, 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. Somem-se a isso outras variáveis como a dose, a forma de incorporação e os atributos físico-químicos inerentes a cada solo.

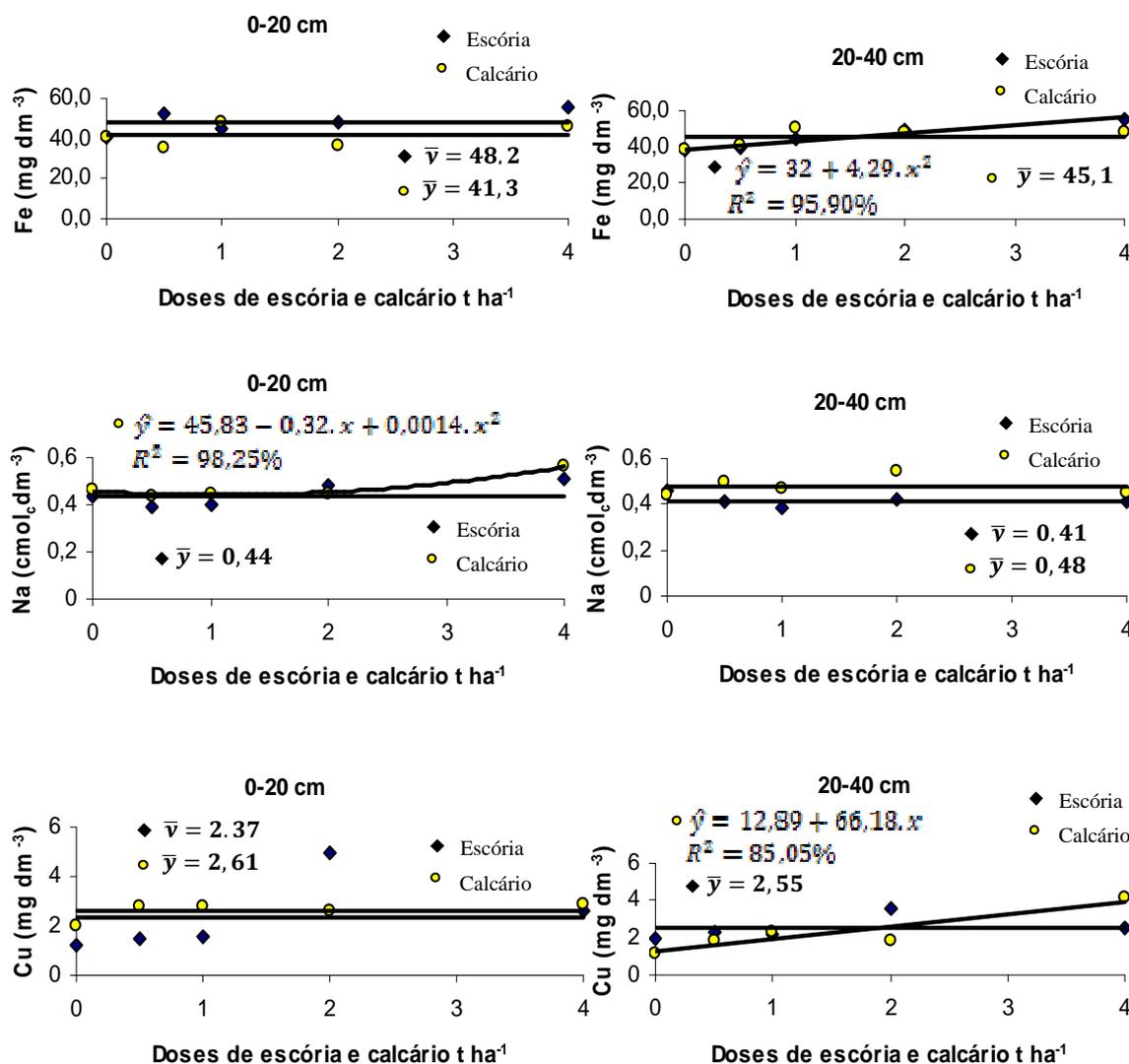


Figura 12. Aumento nos teores de Fe, Na e Cu em solo cultivado com cana-de-açúcar tratado com escória siderúrgica e calcário.

A aplicação de escória de aciaria e calcário no sulco de plantio não causou problemas de poluição ambiental, considerando-se a que não foi detectado a presença do teor disponível de metais pesados Cd, Pb e Ni no solo e 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 a cultura e ao solo. Além disso, a escória siderúrgica em sua composição apresenta 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. Além destes fatores mencionados, o fator ambiente também é importantíssimo, haja vista que sua utilização reduz as quantidades que estão se acumulando nos pátios industriais.

CONCLUSÕES

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.

A escória siderúrgica promove incremento no teor de Zn nas folhas da cana-planta.

A aplicação de escória de siderurgia promove alterações na altura dos colmos e na área foliar da cana-planta.

A aplicação de escória siderúrgica não aumenta a disponibilidade de metais pesados Cd e Pb quando aplicadas no sulco de plantio em Argissolo Vermelho-Amarelo no cultivo da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. L. (2001). **Potencialidade de utilização de resíduo da produção de sílica amorfa como corretivo de solo agrícola**. Dissertação de Mestrado, FEAGRI, UNICAMP, Campinas. 106 p.

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. et al. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 325-330, 2001.

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**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, 2004.

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

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/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

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

FIRME, D. J. **Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia como fosfato natural**. 1986. 55 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag fertilizers in a paddy soil and Si uptake by rice plant. **Soil Science Plant Nutrition**, v. 43, n. 2, p. 329-341, 1997.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KORNDÖRFER, G. H. PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. Análise de silício no solo, planta e fertilizante. 2 ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (**Boletim Técnico**, 2).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicatos de Cálcio e Magnésio na Agricultura. 2.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 24 p. (**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**, Espírito Santo, v. 6, p. 27-37, 2009.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JUNIOR, G. B. Produtividade agrícola de cultivares de cana-de-açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301. 2001.

MORAES, J. F. L. et al. Efeito de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L) cv. Carioca-80. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 3, Piracicaba, 1998.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na Agricultura. Jaguariúna: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2008. 9 p. (EMBRAPA: Circular Técnica, 19).

PRADO, R. 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**, Viçosa, v. 27, p. 287-296, 2003.

PRADO, R. M. et al. Liberação de micronutrientes de uma escória aplicada em um argissolo vermelho-amarelo cultivado com mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 536-542, 2002.

PRADO, R. M. et al. Reatividade de uma escória de siderurgia em um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 197-205, 2004.

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, R. M.; KORNDORFER, G. H. Efeitos da escória de siderurgia sobre a cultura do milho (*Zea mays* L.) cultivados em um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico. **Científica**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, 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**, Piracicaba, v. 79, n. 2, p. 260-274, 2004.

RAIJ, B. v. et al. (Eds). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: **Instituto Agrônomo/Fundação IAC**, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).

ROSSETTO, R. et al. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 1, p. 105-119, 2004.