

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO RESIDUAL DO CALCÁRIO E DA ESCÓRIA DE  
SIDERURGIA NA PRIMEIRA SOQUEIRA DA CULTURA DA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Thiago Batista Firmato de Almeida**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Julho de 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS  
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**EFEITO RESIDUAL DO CALCÁRIO E DA ESCÓRIA DE  
SIDERURGIA NA PRIMEIRA SOQUEIRA DA CULTURA DA  
CANA-DE-AÇÚCAR**

**Thiago Batista Firmato de Almeida**  
**Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL  
Julho de 2011

A447e Almeida, Thiago Batista Firmato de  
Efeito residual do calcário e da escória de siderurgia na primeira  
soqueira da cultura da cana-de-açúcar / Thiago Batista Firmato de  
Almeida. -- Jaboticabal, 2011  
v, 60 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,  
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2011  
Orientador: Renato de Mello Prado  
Banca examinadora: Edson Luiz Mendes Coutinho, Francisco  
Maximino Fernandes  
Bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Silicato de cálcio 2. Resíduo siderúrgico. 3.  
Saturação por bases. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências  
Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –  
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO:** EFEITO RESIDUAL DO CALCÁRIO E DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA PRIMEIRA SOQUEIRA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

**AUTOR:** THIAGO BATISTA FIRMATO DE ALMEIDA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:



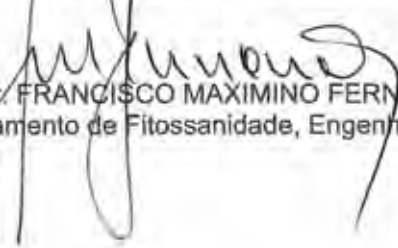
Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. EDSON LUIZ MENDES COUTINHO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal



Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

Data da realização: 22 de julho de 2011.

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**Thiago Batista Firmato de Almeida** – nascido em Ilhéus, Bahia, em 21 de maio de 1983, filho de Manoel Márcio de Souza Almeida e Marina Batista Almeida. Em 2000 ingressou na Escola Média de Agropecuária Regional da Ceplac - EMARC, em Uruçuca-BA, e qualificou-se em Técnico em Alimentos. Em 2004 ingressou na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Câmpus de Vitória da Conquista-BA, e graduou-se Engenheiro Agrônomo em 2009. Durante a Graduação foi bolsista de Iniciação Científica (FAPESB) por 36 meses, colaborou em projetos de pesquisa junto a empresas privadas e coordenou um evento em 2008. Em 2009 ingressou no curso de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do solo) na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - UNESP, Câmpus de Jaboticabal. Foi bolsista CAPES por 7 meses e bolsista FAPESP por 17 meses. Realizou atividades de estágio docência na disciplina Nutrição de Plantas, participa do Grupo de pesquisa GENPLANT, atuando como colaborador em projetos de pesquisa, co-orientou um aluno de graduação e coordenou em equipe a organização de evento em 2010. Autor e co-autor de um capítulo de livro, dez artigos em periódicos científicos, trinta e sete resumos em anais de congressos. Em julho de 2011, obteve o título de Mestre em Agronomia pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo).

Aos meus pais, Manoel Márcio de Souza Almeida e Marina Batista Almeida e meu irmão Matheus Batista Firmato de Almeida que formam um insigne conceito de **família**, simples, unida e **aliançada com Deus**. Pois foram nessas criaturas que perseverou a minha busca pelo saber diante das dificuldades advindas.

## DEDICO

Aos meus padrinhos, vovô Jaime e vovó Ivone (*In memoriam*), que **ontem** estiveram do nosso lado, **hoje**, especialmente, a saudade é mais forte, mas **sempre**, as lembranças de uma boa infância ficam para marcar a efemeridade da vida.

## OFEREÇO

**“O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário”**

Albert Einstein, físico alemão.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Jesus Cristo por sempre estar presente em tudo que faço, por ter me concedido sabedoria e saúde e ter abençoado eu e a minha família para poderem me colocar onde estou.

À CAPES e a FAPESP pelo apoio financeiro para a realização da pesquisa.

À FCAV/UNESP e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela infra estrutura concedida aos trabalhos realizados.

A UESB, pela minha formação e aos professores, Abel Rebouças São José, Cristiane Leal, Quelmo Farias, Luciana Gomes, Tiyoko Nair Hojo, Mauro Pereira por me incentivarem fortemente na pesquisa.

À Usina São Martinho por colaborar grandemente, disponibilizando a equipe de pessoal, que sob a coordenação do seu Vicente executou trabalhos de campo e ainda por disponibilizar maquinário para o desenvolvimento dos trabalhos de campo.

Ao ilustre Prof. Dr. Renato de Mello Prado pela excelente orientação, coordenação da organização da forma de trabalho em equipe e a valiosa disseminação de conhecimentos agronômicos.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa por facilitar o entendimento estatístico com explicações agronômicas e estar sempre disposto e com paciência para nos receber.

Aos membros da banca examinadora de qualificação e defesa, Prof. Dr. Itamar Andrioli, Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho e Prof. Dr. Francisco Maximino Fernandes pela valiosa contribuição científica.

Aos colegas do GENPLANT, em especial, Marcus, Aline, Cíntia e Ivana e aos demais, Lucas, Douglas, Silvio, Matheus, André, Netto, Everton, Thays, Bernardo, Márcio, Gabriela, Rilner, Hilário, Edson, Jonas, Lucian pela realização do trabalho em equipe.

A todos os funcionários do Depto. de Solos e Adubos, em especial, Claudinha, Dejair, Luizinho, "Cheirinho", Mauro, Celinha e o Gomes pela amizade boas conversas e a disposição em ajudar sempre.



Ao funcionário Marcelo Scatolin e a toda equipe da Fazenda FCAV, por sempre fazer o possível para agilizar o trabalho de campo.

Aos amigos da República Nordestina, Anchieta, Samy, Carlos, Davi, Sonsom, pela harmoniosa convivência e alegrias de se encontrar uma família distante de casa.

Aos amigos-irmãos que ficarão gravados e guardados pra sempre no coração: o velho Tocantins, sujeito homem: Marcus André e a minha paulistinha preferida: Aline Puga, por me aturarem esse tempo e gerar uma boa amizade.

A todos os amigos e colegas da Pós-graduação, que não são poucos, em especial, Daily, Arlene, Aluísio, Juliana, Carlos, Ronaldo, Marilena, Vivi, Edney, Wilton, Hélio, Saulo, que sempre de forma amistosa influenciaram positivamente de alguma forma com a agradável companhia.

A Lívia Duca por compartilhar de um amor incondicional, pela cumplicidade e estar sempre presente e com boas e fortes palavras para levantar o ego e a vontade de tocar em frente e seguir a vida. Amo você branquinha!

A Sônia e Zé pela confiança empregada, simplicidade e bons momentos de convivência. Adoro vocês.

Aos meus tios queridos, tia Martha e tio Chico, tio Alexandre e tio Jafa (*in memoriam*), por apoiarem sempre. Tio Jafa, a pior parte da correção desta dissertação foi colocar este complemento no final do teu nome, esteja com Deus onde estiver.

Aos meus pais por serem parte integrante de 12,3% dos pais que investem na educação do filho, que está entre os 0,6% das pessoas com titulação de mestre, e, orgulhosamente, já está fazendo parte de um contingente menor ainda com titulação de doutorado. Obrigado meus pais, pois sou parte de 2,6% dos Baianos com este nível de educação.

Enfim, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a concretização desta etapa, inclusive, a você, que está prestes a ler esta obra agora para que possa interferir positivamente em sua propriedade e/ou estabelecimento agrícola.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO_____	ii
ABSTRACT_____	iv
1. INTRODUÇÃO_____	01
2. OBJETIVO_____	03
3. REVISÃO DE LITERATURA_____	03
3.1. Importância da cana-de-açúcar_____	03
3.2. Fertilidade dos solos tropicais_____	04
3.3. Efeitos da escória de siderurgia no solo e na soqueira da cana-de-açúcar____	05
3.4. Efeitos do silício no solo e na planta_____	07
3.5. Escória de siderurgia e metais pesados no solo_____	09
4. MATERIAL E MÉTODOS_____	11
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO_____	15
5.1. Efeitos dos tratamentos no solo_____	15
5.2. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia nos teores de metais pesados no solo_____	23
5.3. Efeitos dos tratamentos na planta_____	27
5.3.1. Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento da cana soca (2º ciclo)____	27
5.3.2. Efeitos dos tratamentos no estado nutricional da cana soca (2º ciclo)____	32
5.3.3. Efeitos dos tratamentos na matéria seca, produção e qualidade da cana soca (2º ciclo)_____	44
6. CONCLUSÕES_____	50
7. REFERÊNCIAS_____	51
8. APÊNDICE_____	60

## EFEITO RESIDUAL DO CALCÁRIO E DA ESCÓRIA DE SIDERURGIA NA PRIMEIRA SOQUEIRA DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR

**RESUMO** – No Brasil grande parte das áreas com cultivo de cana-de-açúcar tem solos com reação ácida, sendo um dos fatores que contribui para a baixa produtividade. Objetivou-se avaliar o efeito residual do calcário e da escória de siderurgia como material corretivo de acidez do solo, na nutrição e na produção de colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar, no sistema de colheita sem despalha a fogo, cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico. O trabalho foi desenvolvido na FCAV/UNESP– Câmpus de Jaboticabal-SP, com a variedade RB855156, no ano agrícola de 2009/2010. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4, sendo duas fontes de material corretivo (escória de siderurgia e o calcário) e quatro doses ( $E\text{CaCO}_3 = 0; 0,9; 1,8 \text{ e } 3,6 \text{ t ha}^{-1}$ ), com quatro repetições. No solo, a amostragem foi realizada aos 12 meses após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade, determinando os atributos químicos para fins de fertilidade do solo e teor de silício (Si), determinou-se também o teor dos metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) no solo. Realizou-se a diagnose foliar e determinaram-se os teores de Si e dos metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) nas folhas. Também foi avaliado o número, a altura e o diâmetro dos perfilhos/colmos aos 120, 270 e 390 dias após a brotação da cana soca (2º ciclo). Determinou-se a massa de matéria seca, a produção de colmos e a qualidade tecnológica. A escória de siderurgia apresentou-se semelhante ao calcário nos atributos químicos do solo, vinte e quatro meses após a brotação da cana planta (1º ciclo). O uso da escória de siderurgia manteve as concentrações de metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb), no solo abaixo dos níveis permitidos. Não houve diferença entre os materiais corretivos nas variáveis de crescimento e no estado nutricional. As doses dos materiais corretivos decresceram os teores foliares de Mn e aumentaram o teor foliar de Si da soqueira de cana-de-açúcar. A qualidade tecnológica da cana soca (2º ciclo) não foi influenciada significativamente pelas fontes e doses de materiais corretivos. Os materiais corretivos utilizados nas

maiores doses foram responsáveis pela maior produção na cana soca (2º ciclo), destacando-se a escória de siderurgia.

**Palavras-chave:** *Saccharum* spp., silicato de cálcio, resíduo siderúrgico, saturação por bases.

## RESIDUAL EFFECT OF LIME AND OF SLAG OF STEEL IN THE RATOON FIRST OF SUGAR CANE

**ABSTRACT** – In Brazil most of the areas with cultivation of sugar cane has soils with acid reaction being one of the factors contributing to low productivity. The objective was to evaluate the residual effect of limestone and of slag as a material corrective in soil acidity, nutrition and culms yield of the ratoon first of sugar cane in the crop system without fire in husk, grown on an Oxisol. The work was developed in FCAV / UNESP-Jaboticabal Campus-SP, with the variety RB855156, in the agricultural year 2009/2010. The experimental design was randomized blocks in factorial scheme 2x4, with two sources of corrective material (slag and limestone) and four rates ( $\text{ECaCO}_3 = 0, 0.9, 1.8$  and  $3.6 \text{ t ha}^{-1}$ ) with four replications. In soil, sampling was performed to 12 months after the of the budding of ratoon sugar cane, at the layers of 0-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm deep, determining the soil chemical attributes for soil fertility and content of silicon (Si), also determined the content of heavy metals (Cd, Cr, Ni and Pb) in soil. Was held on leaf analysis and were determined the contents of Si and of heavy metals (Cd, Cr, Ni and Pb) in the leaves. Also was assessed the number, height and diameter of tillers / culms at 120, 270 and 390 days after budding the of ratoon sugar cane (second cycle). It was determined the mass of dry matter, a production of culms and the technological quality. The slag had a similar presentation to the limestone in the soil chemical attributes, twenty-four months after the sprouting of the plant cane (first cycle). The use of slag remained concentrations of heavy metals (Cd, Cr, Ni and Pb) in soil below the permitted levels. There was no difference between the corrective materials in the variables of growth and nutritional status. The rates of corrective materials decreased the foliar concentrations of Mn and increased the leaf Si content of the ratoon sugar cane. The technological quality of sugar cane ratoon (second cycle) was not significantly influenced by the sources and rates of corrective materials. The technological quality of sugar cane ratoon (second cycle) was not significantly influenced by the sources and rates of corrective materials. The correctives materials used in larger rates were

responsible for increased production in sugar cane ratoon (second cycle), highlighting the slag.

**Key words:** *Saccharum* spp., calcium silicate, residue steel, base saturation.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil grande parte das áreas agrícolas situa-se em solos com reação ácida, sendo um dos principais fatores que contribuem para a baixa produtividade das culturas (RAIJ, 1991).

Com a correção da acidez do solo tem-se a precipitação do Al tóxico na camada arável (ORLANDO FILHO et al., 1990), bem como na camada sub superficial do solo (PRADO et al., 1998), possibilitando o desenvolvimento intenso das raízes, com reflexos positivos no crescimento da cana-de-açúcar. No estabelecimento de uma cultura semi-perene, como a cana-de-açúcar, o preparo do solo é imprescindível, pois um solo com reação ácida pode comprometer a produtividade das plantas por muito tempo (RAIJ et al., 1996). Este fato torna-se importante, porque a calagem superficial em lavouras em soqueiras exerce ação restrita na correção da acidez do solo em profundidade e sem efeito significativo na produção (SALATA et al., 1995). Além disso, o uso constante de fertilizantes acidificantes, especialmente os nitrogenados, agrava o problema, lembrando que em soqueiras com alta produção as doses de adubos nitrogenados são normalmente elevadas (BRASSIOLI et al., 2009).

A prática da calagem com maior relação custo/benefício é importante não só no ano agrícola de sua aplicação, mas também em anos sucessivos, isto é, em seu efeito residual, beneficiando todo o ciclo das soqueiras, proporcionando maior longevidade e aumento do intervalo entre as reformas do canavial (PRADO et al., 2003).

Assim, em solos implantados com lavouras de cana-de-açúcar, tem-se a necessidade de estudar os efeitos de materiais corretivos alternativo ao calcário que é uma reserva natural não renovável aproveitando recursos disponíveis de resíduos industriais renováveis que podem ser utilizados na agricultura, onde se destaca a escória siderúrgica (PRADO et al., 2002).

Portanto, para melhorar a fertilidade dos solos do Brasil, a partir da correção da acidez do solo e fornecimento de cálcio e magnésio, tem-se a escória de siderurgia, um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituída quimicamente de um silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) com ação neutralizante do solo ( $\text{SiO}_3^{-2}$ ) e que atualmente é pouco

utilizado na agricultura brasileira, diferentemente de alguns países como Estados Unidos, Japão e China, que utilizam amplamente na agricultura (PRADO et al., 2001a).

Os poucos trabalhos que tratam do uso da escória silicatada de siderurgia como corretivo de acidez e a resposta das culturas, ocorrem especialmente nas anuais como arroz, sorgo e milho. Em culturas semi-perenes como a cana-de-açúcar têm poucos trabalhos de pesquisa desta natureza restringindo-se a ensaios em vasos e em alguns tipos de solos, como Latossolo Vermelho, Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho aluminoférrico (PRADO e FERNANDES, 2000a, 2001c), em Latossolo Vermelho distrófico, textura média (BASTOS, 2008) e em campo restringe apenas para o Latossolo Vermelho Amarelo em estudos desde a cana planta e a primeira soqueira (PRADO, 2000b; PRADO e FERNANDES, 2001d; PRADO et al., 2002b), segunda e terceira soqueira (PRADO et al., 2003) e a quarta soqueira da cana-de-açúcar (BRASSIOLI et al., 2009). Enquanto que em Latossolo Vermelho situa-se quase a metade da área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil (MARIN, 2009). Nesta classe de solo não foram encontrados trabalhos sobre os efeitos residuais da escória de siderurgia na cultura da cana-de-açúcar estudando como fonte de silício, e, principalmente o monitoramento da liberação dos metais pesados no solo.

Em função disso, tem-se a necessidade da ampliação de estudos com materiais corretivos para diferentes classes de solos, como em um Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa. Neste sentido é oportuno o aprofundamento das pesquisas abordando também o silício e os metais pesados que possam ser liberados pela escória de siderurgia, podendo esta, agir no solo com efeito residual benéfico como fonte de material corretivo, podendo obter reflexos positivos na longevidade do canavial.



## 2. OBJETIVO

Objetivou-se, com a presente pesquisa, avaliar o efeito residual do calcário e da escória de siderurgia como corretivo da acidez do solo nos atributos químicos do solo, no desenvolvimento, na nutrição, na matéria seca, na qualidade e na produção de colmos da primeira soqueira de cana-de-açúcar, no sistema de colheita sem despalha a fogo, cultivada em um Latossolo Vermelho distrófico.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1. Importância da cana-de-açúcar

A crescente preocupação da sociedade mundial com o ambiente vem gerando discussão sobre o uso de combustíveis fósseis, os quais são os grandes responsáveis pela emissão de gases poluentes na atmosfera. 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. Para o Havaí, foi estimada a absorção líquida de  $130 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$  e liberação de  $98 \text{ t ha}^{-1}$  de  $\text{O}_2$ , em cada safra, para a cana-de-açúcar colhida sem uso do fogo previamente à colheita (ECHAVARRIA, 1995).

O último levantamento de safra feito pela AgraFNP, em agosto de 2010, indicou uma produção brasileira de 642 milhões de toneladas de cana, 6% a mais que na safra anterior, com isso, o Brasil deverá produzir 37 milhões de toneladas de açúcar e a produção de álcool deve atingir 28 bilhões de litros, sendo 8 bilhões de álcool anidro e 19 bilhões de álcool hidratado (AGRIANUAL, 2011).

As usinas e destilarias do estado de São Paulo, maior produtor de cana-de-açúcar do país, deverão processar 437 milhões de toneladas da cultura na safra 2011/2012, de acordo com a segunda estimativa de safra divulgada em 27 de junho 2011, pelo Instituto de Economia Agrícola (IEA). A previsão é levemente superior às 435 milhões de toneladas da primeira estimativa, divulgada em abril. Caso seja

concretizada, a moagem nesta safra será 1,8% superior à da passada, quando 430 milhões de toneladas foram processadas no Estado. Segundo o levantamento do IEA, a área de cana será praticamente a mesma no Estado. Em 2011/2012, as lavouras deverão compreender 5,75 milhões de hectares, aumento de apenas 0,8% ante os 5,71 milhões de hectares de 2010/2011. A produtividade da cultura também terá uma pequena variação, de 0,7%, entre ambos os períodos, de 83,72 para 84,33 toneladas por hectare (INFORMA ECONOMICS FNP, 2011).

A área plantada de cana-de-açúcar para 2007/2008, em Jaboticabal, foi de 53,8 mil hectares, correspondendo a aproximadamente 1% do Estado de São Paulo que quantifica uma área de aproximadamente 5,5 milhões de hectares (SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO, 2008).

A agroindústria sucroalcooleira constitui um dos setores do agronegócio mais importante para a economia primária brasileira. O setor movimenta anualmente 12 bilhões de reais. Considerando somente o estado de São Paulo, a cadeia de produção de açúcar e álcool responde por 40% do emprego rural e 35% da renda agrícola (CARVALHO, 1999).

Um dos aspectos conhecidos e responsáveis pelo aumento da produção da cana-de-açúcar é a adequada nutrição da planta, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros. Esta cultura, instalada em uma vasta área (4,8 milhões de hectares), consome milhões de toneladas de fertilizantes, sendo a cultura na qual mais se aplica adubo por unidade de área (ANDA, 2008).

### **3.2. Fertilidade dos solos tropicais**

Os solos brasileiros possuem a intrínseca característica de apresentar acidez elevada, devido as altas concentrações de alumínio, ferro e manganês na solução do solo (MARTINS, 2005).

Há duas maneiras principais que provocam a acidificação do solo. A primeira ocorre naturalmente pela dissociação do gás carbônico, e a segunda causa da acidificação é ocasionada por alguns fertilizantes (sobretudo os amoniacais e a uréia)

que durante a sua transformação no solo (pelos microrganismos) resulta na liberação de  $H^+$ . Contudo a prática da calagem visa, principalmente, neutralizar a acidez diminuindo os efeitos tóxicos de elementos como o alumínio e o manganês, fornecendo ainda cálcio e magnésio (BRADY, 1989).

Entretanto, os resultados de calagem para a cana-de-açúcar obtidos no Brasil não são ainda conclusivos, segundo ROSSETTO et al. (2004), que puderam constatar a resposta da cana-de-açúcar apenas em duas situações: quando os solos apresentavam baixa fertilidade e acidez elevada, caracterizados por pH menor que 4,4; e teores de Ca próximos a  $6 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$  e Mg de  $1 \text{ mmol}_c.\text{dm}^{-3}$ . O aumento de produtividade devido a prática da calagem, nessas condições, manteve-se entre 8 e  $13 \text{ t ha}^{-1}$ .

Embora existam poucas informações sobre a resposta da cana-de-açúcar a aplicação de calcário a indicação segundo Spironello et al. (1997) é elevar a saturação por bases a 60%. Neste contexto, a prática da calagem é importante para a cultura da cana-de-açúcar, sendo amplamente utilizado a aplicação do calcário, entretanto, têm-se outras formas alternativas como a escória de siderurgia.

### **3.3. Efeitos da escória de siderurgia no solo e na soqueira da cana-de-açúcar**

As escórias siderúrgicas apresentam em sua composição constituintes neutralizantes (ALCARDE, 1992), além de Ca e Mg (PIAU, 1991), Si, elemento benéfico às plantas e ao solo, assim as melhorias nas características químicas do solo pela utilização de escórias decorrem da ação neutralizante do  $\text{SiO}_3^{2-}$  e, conseqüentemente, da elevação do pH e dos teores de Ca e Mg, CTC e V%, e diminuição da concentração de  $H+Al$  (PRADO e FERNANDES, 2000a; PRADO et al., 2002, 2003).

CARVALHO-PUPATTO et al. (2003) verificaram que o aumento nas doses de escória proporcionou aumentos significativos nos valores de pH, Ca, Mg e Si e redução na acidez potencial ( $H+Al$ ). O aumento do valor de pH está relacionado ao poder neutralizante da base  $\text{SiO}_3^{2-}$  (ALCARDE, 1992), presente no material utilizado. Resultados semelhantes foram obtidos por PRADO et al. (2002) e PRADO et al. 2003.

Os efeitos benéficos do silicato no aumento da concentração do P disponível do solo foram encontrados por LEITE (1997), que indica a inclusão de silicatos em programas de adubação fosfatada em Latossolos, objetivando aumentar a eficiência da adubação fosfatada. PRADO e FERNANDES (2001d) sugerem ainda que o efeito da escória de siderurgia no P disponível do solo se deve mais ao efeito do silicato do que ao efeito do pH e, assim o uso agronômico desse subproduto pode contribuir, em seu efeito residual, para aumentar a eficiência da adubação fosfatada em solos semelhantes ao Latossolo Vermelho-Amarelo em soqueiras de cana.

Comparando a escória com o calcário, baseado no poder de neutralização (PN) para a correção do solo, FORTES (1993) verificou a não eficiência da aplicação de escória, enquanto PRADO (2000b), aplicando doses quimicamente equivalentes de calcário e escória, em condições de campo cultivado com cana-de-açúcar (cana-soca) aos 24 meses após a incorporação, observou mudança na correção da acidez do solo e, concluiu que a reatividade da escória de siderurgia depende da classe de solo.

Nos resultados obtidos por PRADO e NATALE (2004), verificaram que a aplicação da escória de siderurgia aumentou significativamente, e de forma linear, o pH, reduzindo linearmente a concentração de  $H^+Al$ , as concentrações de cálcio e magnésio, os valores da soma de bases e da saturação por bases aumentaram de forma quadrática.

Ao avaliar respostas da cana à aplicação da escória, PRADO et al. (2004) observaram que a semelhança do calcário e da escória de siderurgia na produção de massa seca da parte aérea foi explicada pelo seu comportamento semelhante no solo e conseqüentemente na nutrição da planta. Este mesmo autor, estudando a reatividade de uma escória de siderurgia de aciaria, em diferentes frações granulométricas, aplicada em uma amostra de um Latossolo Vermelho distrófico, ácido, em condições de laboratório, pode-se inferir que a escória apresentou um efeito residual maior que o calcário, visto que a fração fina deste material é mais susceptível à perda de ação com o tempo. RAID (1922) verificou ainda, que a escória proporcionou um efeito linear crescente no perfilhamento da cana-de-açúcar (média dos dois cortes) enquanto que o calcário não afetou essa variável.

### 3.4. Efeitos do silício no solo e na planta

Ultimamente, têm sido discutidos os efeitos benéficos do Si no sistema solo-planta. No solo, o Si pode apresentar certa mobilidade, superior ao carbonato dos calcários, com reflexos na lixiviação de bases no perfil, o que, conseqüentemente, favorece o desenvolvimento das raízes nas camadas subsuperficiais, especialmente em sistemas de produção que evitam a mobilização do solo, como no sistema de cana-crua e até em plantio direto (culturas anuais).

O Si encontra-se presente na solução do solo como ácido monossilícico, a maior parte em forma não dissociada, a qual é prontamente disponível às plantas. Devido à dessilicatização causada pelo intenso intemperismo e lixiviação dos solos tropicais, as formas de Si mais encontradas nesses solos são quartzo, opala ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) e outras formas não-disponíveis às plantas. As formas de Si quimicamente ativas no solo são representadas pelo ácido monossilícico solúvel e fracamente adsorvido, ácido polissilícico, e compostos organo-silícicos (MATICHENKOV e CALVERT, 2002).

Depois de absorvido é depositado na forma de sílica amorfa nas paredes das células da epiderme, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar a resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, dependendo da variedade do material (EPSTEIN, 1999; KORNDÖRFER et al., 2002). O Si melhora, ainda, o aproveitamento da água (AGARIE et al., 1998), sendo que as folhas ricas desse elemento podem, por meio da polimerização, preencher os espaços interfibrilares, reduzindo o movimento da água através da parede celular, causando aumento da economia de água da planta pela diminuição da taxa de transpiração (SAVANT et al., 1999).

O Si beneficia também a arquitetura da planta, as folhas ficam mais eretas e aumenta a taxa fotossintética (DEREN et al., 1994; KORNDÖRFER et al., 2002; FARIA, 2000), resultado de uma menor abertura de ângulo foliar, permitindo maior captação da energia luminosa (YOSHIDA et al., 1969), aumentando a produtividade, principalmente em espécies acumuladoras desse elemento como o arroz e cana-de-açúcar (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995).

A cana-de-açúcar apresenta alta exigência em Si. ROSS et al. (1974) citam uma exportação de até 408 kg ha<sup>-1</sup> de Si para uma produtividade de 74 t ha<sup>-1</sup> de cana-de-açúcar (folhas e colmos). Pode ainda, aumentar a produção de 11 a 20% na cana-soca (DATNOFF et al., 2001). BITTENCOURT et al. (2003), estudando os efeitos do silicato de cálcio em Latossolo Vermelho Escuro, observaram a resposta da cana-de-açúcar refletindo num aumento de 7% na produção de colmos e também na qualidade atingindo acréscimo de 11% na produtividade de açúcar. SILVEIRA Jr. et al. (2003) também obtiveram aumentos na produção de colmo na cana planta e cana-soca com a aplicação de silicato, sendo estes superiores aos efeitos do calcário. Ambos os trabalhos concluíram que não há efeito do silicato de cálcio nas características tecnológicas da cana-de-açúcar.

ELAWAD et al. (1982a) estudaram na cultura da cana-de-açúcar diferentes silicatos e observaram, independentemente da fonte, maior crescimento (altura, diâmetro do colmo, número de colmos) e maior produção da cana-de-açúcar no primeiro e segundo cortes. Os autores notaram, no mesmo experimento, um aumento no teor foliar de Si e um decréscimo na incidência de lesões denominadas de sardas leaf freckling, além de um incremento no teor de clorofila e de macros e micronutrientes nas folhas dessa gramínea (Elawad et al., 1982b).

ANDERSON et al. (1991) e RAID et al. (1992), observaram ainda que a produtividade da cana-de-açúcar e a síntese de açúcar podem aumentar significativamente devido à aplicação de silicatos de cálcio na forma de escória. As maiores respostas são obtidas no primeiro ano após a aplicação da escória, ou seja, em seu efeito residual, quando aumenta a absorção de Si pela planta.

PRADO et al. (2003), estudando o efeito residual da escória de siderurgia em soqueiras de cana, constatou que o calcário e a escória de siderurgia promoveram efeito residual benéfico, após 48 meses da aplicação, na correção da acidez do solo e na elevação do valor da saturação por bases; a maior dose de calcário causou efeito depressivo no perfilhamento, no número de colmos industrializáveis e na produção da cana-de-açúcar, fato não observado com uso da escória de siderurgia, ainda, a aplicação da escória de siderurgia e do calcário, em pré-plantio, promoveu efeito

residual positivo na produção da soqueira de cana-de-açúcar. Saliente-se que poucos são os trabalhos relacionados sobre esse tema.

Embora as funções do silício na cana-de-açúcar não sejam completamente esclarecidas, sabe-se que ele desempenha importante papel na produtividade dessa cultura, sendo absorvido em quantidade elevada, podendo variar de 0,14% a 6,7%, em folhas jovens e folhas velhas, respectivamente (ANDERSON et al., 1991).

### **3.5. Escória de siderurgia e metais pesados no solo**

A presença de metais pesados nos solos pode ter origem natural, depende do material de origem e do grau de intemperização que esse material sofreu, ou antropogênica, que é a principal razão do aumento crescente na concentração de metais pesados em solos agrícolas. Atualmente, o solo é tido como um dos meios mais promissores para o descarte de vários resíduos que têm por finalidade melhorar as condições físicas do solo e/ou fornecerem nutrientes essenciais às plantas, mas, muitas vezes, apresentam altos teores em metais pesados. Entretanto, a presença de metais pesados não é exclusividade de resíduos, uma vez que é sabido que fertilizantes, corretivos, defensivos e outros produtos usados na agricultura podem contê-los. Os principais metais pesados presentes no solo e nos produtos utilizados na agricultura são o Al, Co, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn e Zn. Dentre esses, deve-se ressaltar que alguns são essenciais às plantas (Cu, Fe, Mn, Mo, e Zn), às bactérias fixadoras de nitrogênio (Co e Mo) e aos animais (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn) (Abreu et al., 2002).

Existem alguns exemplos de alternativas de uso de escórias, principalmente as de alto forno. Em contra partida as escórias provenientes da fabricação de aço-inox, foram pouco estudadas, havendo poucas informações disponíveis, talvez devido a limitação que a presença de óxido de cromo impõe ao seu uso agrícola (ZETTERMANN, 2001).

Para se fundamentar o uso agrícola da escória de siderurgia na agricultura, além dos aspectos positivos sobre a fertilidade do solo e a nutrição das plantas, são



necessários fazer estudos sobre a influência na liberação de metais pesados potencialmente tóxicos no solo e a absorção pelas plantas e, conseqüentemente, sua influência ou não na cadeia alimentar.

Embora, tenham sido realizadas algumas pesquisas com escória de siderurgia em cana-de-açúcar no Brasil, são incipientes os trabalhos que avaliaram o efeito desse material com relação à liberação de metais pesados, bem como, são contraditórios os resultados obtidos com relação aos extratores utilizados na quantificação dos mesmos, principalmente para cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni) e chumbo (Pb), metais pesados presentes na escória siderúrgica. Assim, o estudo da aplicação da escória de siderurgia é condição necessária para que sua utilização preserve as condições ambientais.

SOUZA (2002) verificou que a correção do solo tanto pelo agrosilício<sup>®</sup> quanto pelo calcário resultou em menor absorção de Pb pela cana-de-açúcar. E observou ainda, que não houve efeito com relação à absorção de Ni pela cana-de-açúcar. A correção de acidez (promovida pela aplicação da escória) diminui a concentração de Ni na solução do solo (LINDSAY, 1979), sendo que o Ni, que é considerado um elemento tóxico, presente em pequenas quantidades, pode ser benéfico ao crescimento vegetal (MALAVOLTA, 1980; SOUZA, 2002).

CORRÊA et al., (2008), trabalhando com a disponibilidade de metais pesados em Latossolo com a aplicação da escória, observaram, que não houve correlação significativa entre os teores disponíveis de Cd, Cr, Hg, Pb, V e As, em relação aos atributos químicos do solo, pH, matéria orgânica e CTC, o que permite inferir que houve efeito de compensação entre a adição de metais pesados e a sua atuação no aumento do pH, da matéria orgânica e da CTC do solo (responsáveis pela adsorção desses metais), o que os torna indisponíveis para análise de extração por DTPA, assim como indisponíveis às plantas, nas condições de Latossolo Vermelho distrófico, manejado sob plantio direto.

Assim, pesquisas são realizadas para se determinar os teores potencialmente tóxicos de metais pesados em solos, porém, há uma ampla discussão científica sobre qual a melhor metodologia química se empregar para avaliar a disponibilidades destes



elementos em solos, principalmente no que se refere ao extrator químico adequado a ser determinado tal elemento que venha a ser potencialmente tóxico.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal-SP, localizada a uma altitude de 610 metros, com as seguintes coordenadas geográficas: 21°15'22" S e 48°15'18" W, apresentando clima megatérmico seco no inverno (Aw) pelo critério de classificação climática de Köppen. O solo foi classificado por ANDRIOLI e CENTURION (1999) e corresponde a um Latossolo Vermelho distrófico típico, textura argilosa, A moderado, caulinitico, hipoférrico, relevo plano conforme Embrapa (2006).

Realizou-se a amostragem de solo antes do preparo do solo e plantio da cana-de-açúcar (17 de janeiro de 2008) variedade RB855156 para fins de avaliação de fertilidade (RAIJ et al., 2001) onde se determinou na camada de 0-20 cm de profundidade, pH (em CaCl<sub>2</sub>) 4,5; M.O.=17 g dm<sup>-3</sup>; P=15 mg dm<sup>-3</sup>; K=1,9 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Ca=7 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg=3 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H+Al=40 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; SB=12,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; T=52,4 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V=24%. Na mesma camada de solo, as concentrações de micronutrientes, alumínio e silício foram: B=0,18; Cu=0,7; Fe=19; Mn=13,5; Zn=0,5 mg dm<sup>-3</sup>; 6,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al e 3,9 mg dm<sup>-3</sup> de Si. Os tratos culturais e as avaliações na cultura no ano agrícola de 2008/2009 (cana planta) estão descritos em AVALHÃES (2010), neste trabalho foi avaliado a cultura no ano agrícola 2009/2010 (primeira soqueira).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4, sendo dois corretivos (a escória de siderurgia e o calcário) e quatro doses de materiais corretivos (ECaCO<sub>3</sub> = 0; 0,9; 1,8 e 3,6 t ha<sup>-1</sup>), com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais. Cada unidade experimental foi constituída por uma parcela de 6 m de comprimento e 6 m de largura, totalizando uma área de 36 m<sup>2</sup>, com espaçamento entre linhas de 1,5 m.

As fontes de material corretivo foram a escória de siderurgia denominada

agrosilício® (Recmix, Timóteo-MG) (PRNT = 72,3%, RE = 82,9%, CaO = 42,1%, MgO = 12,4%, Si total em HFconc = 8,1%, Si solúvel em Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>+ NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> = 6,0%, Cd = 2,4 mg kg<sup>-1</sup>, Cr = 2,3 g kg<sup>-1</sup>, Ni = 163,8 mg kg<sup>-1</sup>, Pb = 27,3 mg kg<sup>-1</sup>), e o calcário (PRNT = 86,2%, RE = 85,9%, CaO = 41,4% e MgO = 10,6%).

As quantidades dos materiais corretivos utilizadas foram: zero, metade, uma vez e duas vezes a dose indicada para elevar V igual a 60%, em equivalente carbonato de cálcio (ECaCO<sub>3</sub> = 0; 0,9; 1,8 e 3,6 t ha<sup>-1</sup>), seguindo a recomendação para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997), correspondendo às doses de 0,0; 1,3; 2,6 e 5,2 t ha<sup>-1</sup> para a escória de siderurgia e, 0,0; 1,1; 2,2 e 4,4 t ha<sup>-1</sup> para o calcário.

Para todas as avaliações feitas no experimento, consideraram-se as duas linhas centrais de plantio, com 6 m de comprimento, espaçadas 1,5 m entre linhas, totalizando uma área útil de 18 m<sup>2</sup>, sendo as demais linhas denominadas de bordaduras.

Trinta dias após a colheita da cana planta, no dia 24 de maio de 2009, realizou-se a adubação básica, aplicando-se 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, 30 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 130 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na forma de uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente, em todos os tratamentos. As doses foram baseadas na análise química do solo, seguindo a recomendação de adubação proposta por SPIRONELLO et al. (1997) para alta produtividade da cana-de-açúcar.

No solo, a amostragem foi realizada 24 meses após a colheita da cana planta, coletando-se 10 pontos por área útil, nas camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade. Posteriormente, as amostras de terra foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura para determinações dos atributos químicos do solo (pH, M.O., P, K, Ca, Mg, H+Al). A análise química seguiu os métodos descritos por RAIJ et al. (2001) e calcularam-se a SB, T e V%. Determinou-se ainda, nas amostras de terra, a concentração de Si “disponível” segundo a metodologia proposta por KORNDÖRFER et al. (2004).

Além disso, foi realizado estudo para avaliar o risco de contaminação de metais pesados potencialmente tóxicos da escória aplicada no solo, sendo determinadas as concentrações fitodisponíveis de Cd, Cr, Ni e Pb, utilizando-se o extrator Mehlich-3

(MEHLICH, 1984), e também foi determinado a concentração total desses elementos no sistema solo-planta pela metodologia da USEPA (1986), sendo as leituras realizadas com o auxílio da absorção atômica. A análise de metais pesados no solo foi realizado nas amostras coletadas tanto aos seis meses quanto aos 12 meses após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar, na camada de 0-10 cm de profundidade, e na planta foi realizada no momento da colheita, na parte aérea (folha+colmo).

Para avaliar o estado nutricional das plantas (macronutrientes, micronutrientes e silício), utilizou-se a folha +1 (folha mais alta com bainha visível “TVD”), obtendo 20 cm centrais da folha, excluindo-se a nervura central, coletadas aos nove meses após a brotação (fase de maior desenvolvimento vegetativo) (Figura 1), coletando 10 folhas por parcela (RAIJ e CANTARELLA, 1997). O material vegetal coletado foi lavado em água corrente, solução detergente neutro ( $1 \text{ mL L}^{-1}$ ) e duas vezes em água deionizada. Em seguida, foi seco em estufa de circulação forçada de ar ( $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) até atingir massa constante. Em seguida, as plantas foram moídas e as amostras foram submetidas à determinação dos teores de macronutrientes, micronutrientes e silício, conforme metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983).



**Figura 1** – Foto ilustrando a amostragem da folha +1 da cana-de-açúcar.

Para as análises de crescimento e/ou desenvolvimento, foi considerado o número de perfilhos aos 120 dias após a brotação, devido a ausência de colmos, e o

número de colmos, aos 270 e 390 dias após a brotação, em 1,5 m de sulco. A altura foi medida da base do colmo até a inserção da folha +1 (primeira folha com bainha visível “TVD”), e o diâmetro médio da base do colmo foi medido aos 8 cm acima do solo, em 10 plantas por área útil.

Na ocasião da colheita da primeira soqueira, realizada manualmente, sem despalha a fogo, aos 24 meses após a brotação da cana planta, no dia 12 de maio de 2010, determinou-se a produção a partir da coleta dos colmos da área útil com o auxílio de uma célula de carga acoplada em um trator, os valores foram expressos em  $t\ ha^{-1}$ .

Para a avaliação da qualidade tecnológica da cana, foi realizada a amostragem a partir de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela. Na análise tecnológica foi realizada avaliação do teor de sacarose (Pol% cana), fibra, pureza e concentração de sólidos solúveis, determinados segundo o método descrito por CONSECANA (2006).

Ainda, coletou-se no momento da colheita, a parte aérea (folhas e colmos) em 1,5 m na linha do plantio e em seguida, o material vegetal foi pesado e triturado para se obter a massa da matéria seca, determinar-se o teor de nutrientes conforme a metodologia descrita por Bataglia et al. (1983) e de silício no tecido vegetal conforme a metodologia proposta por KRASKA e BREITENBECK (2010). Em seguida, com dados de matéria seca e os teores de nutrientes, calculou-se o acúmulo de nutrientes e silício nas plantas.

Para estudos dos resultados, foram realizadas análises de variância e estudos de regressão polinomial para as interações significativas utilizando o software AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO, 2011).

Para as variáveis de solo, realizaram-se análises em parcelas subdivididas, sendo oito tratamentos (duas fontes de materiais corretivos x quatro doses – parcelas) e quatro camadas de profundidade (subparcelas).

Para as variáveis de planta (teor e acúmulo de macronutrientes, micronutrientes e Si) e produção realizou-se análise em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4 (duas fontes de materiais corretivos x quatro doses).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Efeitos dos tratamentos no solo

Aos 24 meses após a brotação da cana planta, observou-se diferença significativa para os valores de pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB e V (Tabela 1), demonstrando efeito da ação dos materiais corretivos nas profundidades analisadas. Observou-se interação para as variáveis pH, P, K, Ca, Mg, H+Al, SB, V e Si, indicando que os efeitos da aplicação dos materiais corretivos nestas variáveis dependem da camada de solo estudada. Houve decréscimo para praticamente todas as variáveis estudadas com o aumento da profundidade do solo (Tabela 1), fatos semelhantes foram relatados por outros autores (FARONI, 2008; COSTA et al., 2007), devido a baixa fertilidade em camadas subsuperficiais do solo.

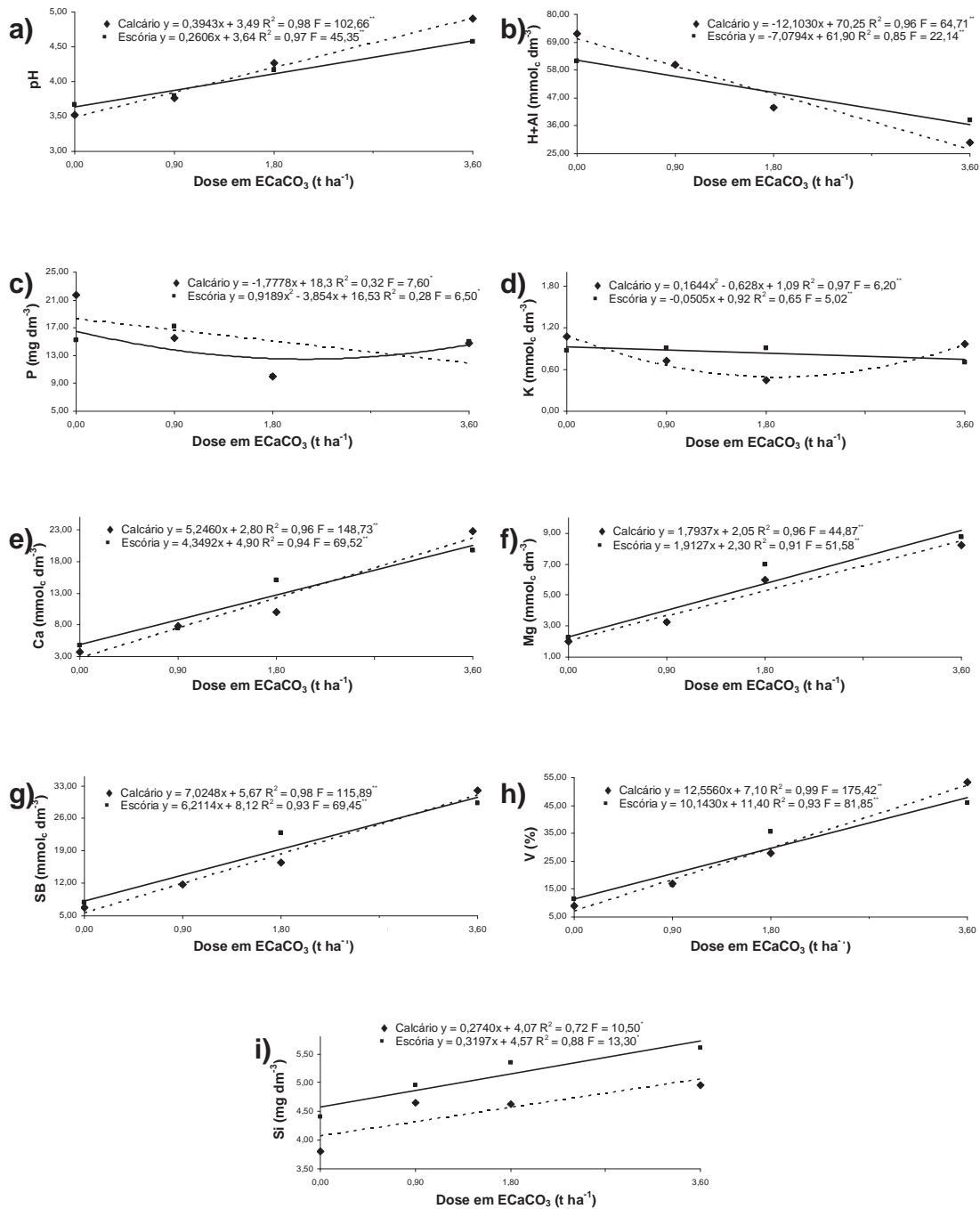
Com base nos resultados obtidos das amostras da camada de 0-10 cm de profundidade, notou-se um aumento linear nos valores de pH (Figura 2a), nas concentrações de Ca (Figura 2e) e Mg (Figura 2f), refletindo num aumento com ajuste linear na soma de bases (Figura 2g) e na saturação por bases (Figura 2h) do solo em função da aplicação do calcário. No entanto, para as mesmas variáveis em função da aplicação da escória houve um incremento com ajuste linear crescente, porém apresentando um menor poder residual quando comparado com o calcário.

Para as concentrações de P (Figura 2c) e H+Al (Figura 2b), ajustou-se de forma linear decrescente, em função da aplicação do calcário, enquanto que para a concentração de K (Figura 2d) apresentou um ajuste quadrático. Entretanto, para as concentrações de H+Al (Figura 2b) e K (Figura 2d), obteve-se um ajuste linear decrescente, exceto para a concentração de P (Figura 2c) que houve um incremento com ajuste quadrático em função do aumento da aplicação de escória de siderurgia, esse decréscimo na disponibilidade de P pode ter sido influenciado, devido a diminuição do pH com o menor poder residual da escória em relação ao calcário, e, ainda, o V% não atingir o esperado (V% = 60), o que também, conjuntamente, pode ter influenciado no decréscimo da concentração de K do solo.

**Tabela 1** – Atributos químicos do solo, determinados aos 24 meses após a brotação da cana planta, em diferentes profundidades, em função da aplicação de duas fontes e quatro doses de material corretivo.

	pH	M.O.	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	Si
Tratamentos(T)	CaCl <sub>2</sub>	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	mmolc dm <sup>-3</sup>						%	mg dm <sup>-3</sup>
1) F1D1	3,7	14	21	0,8	5	2	60	7,9	69,9	12	4,3
2) F1D2	3,9	13	11	0,6	8	3	52	11,8	63,1	19	5,6
3) F1D3	4,3	12	7	0,4	11	6	40	16,7	55,0	30	4,4
4) F1D4	4,4	12	10	0,6	14	5	34	19,6	53,8	36	5,2
5) F2D1	3,8	14	12	0,7	5	3	55	8,2	64,5	13	4,6
6) F2D2	3,8	14	10	0,7	6	3	57	9,0	67,3	14	5,6
7) F2D3	4,1	12	9	0,5	8	4	43	13,1	57,3	22	4,9
8) F2D4	4,3	12	9	0,5	16	7	40	22,8	59,9	38	4,9
Teste F	8,02**	1,35 <sup>NS</sup>	32,89**	15,46**	5,62**	31,09**	9,41**	70,70**	4,46**	39,02**	1,29 <sup>NS</sup>
Profundidades(P)											
1) 0-10 cm	4,1	15	15	0,8	11	5	51	17,3	64,5	27	5,0
2) 10-20 cm	4,1	13	12	0,6	9	4	48	13,6	62,6	23	5,0
3) 20-40 cm	4,0	12	12	0,5	8	3	47	11,8	59,2	21	4,9
4) 40-60 cm	4,0	11	7	0,4	8	4	45	11,8	56,1	22	4,9
Teste F	3,31*	68,68**	83,88**	118,30**	52,35**	34,35**	8,40**	80,13**	33,02**	34,61**	2,65 <sup>NS</sup>
Teste F											
(T) x (P)	3,65**	1,01 <sup>NS</sup>	3,49**	3,66**	21,08**	10,11**	3,16**	24,26**	0,89 <sup>NS</sup>	22,66**	1,73*
CV (%)	9,6	24,0	26,9	20,8	24,9	27,6	25,8	19,5	17,9	30,0	35,0
	4,2	10,7	17,5	15,4	14,4	19,9	10,1	12,1	7,8	11,7	6,2

\*\*\* e <sup>NS</sup> - Significativo a 1% e 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente. F= fonte de material corretivo (F1- calcário; e F2- escória de siderurgia); D= dose de material de corretivo em ECaCO<sub>3</sub> (D1= 0; D2= 0,9; D3=1,8; e D4= 3,6 t ha<sup>-1</sup>).



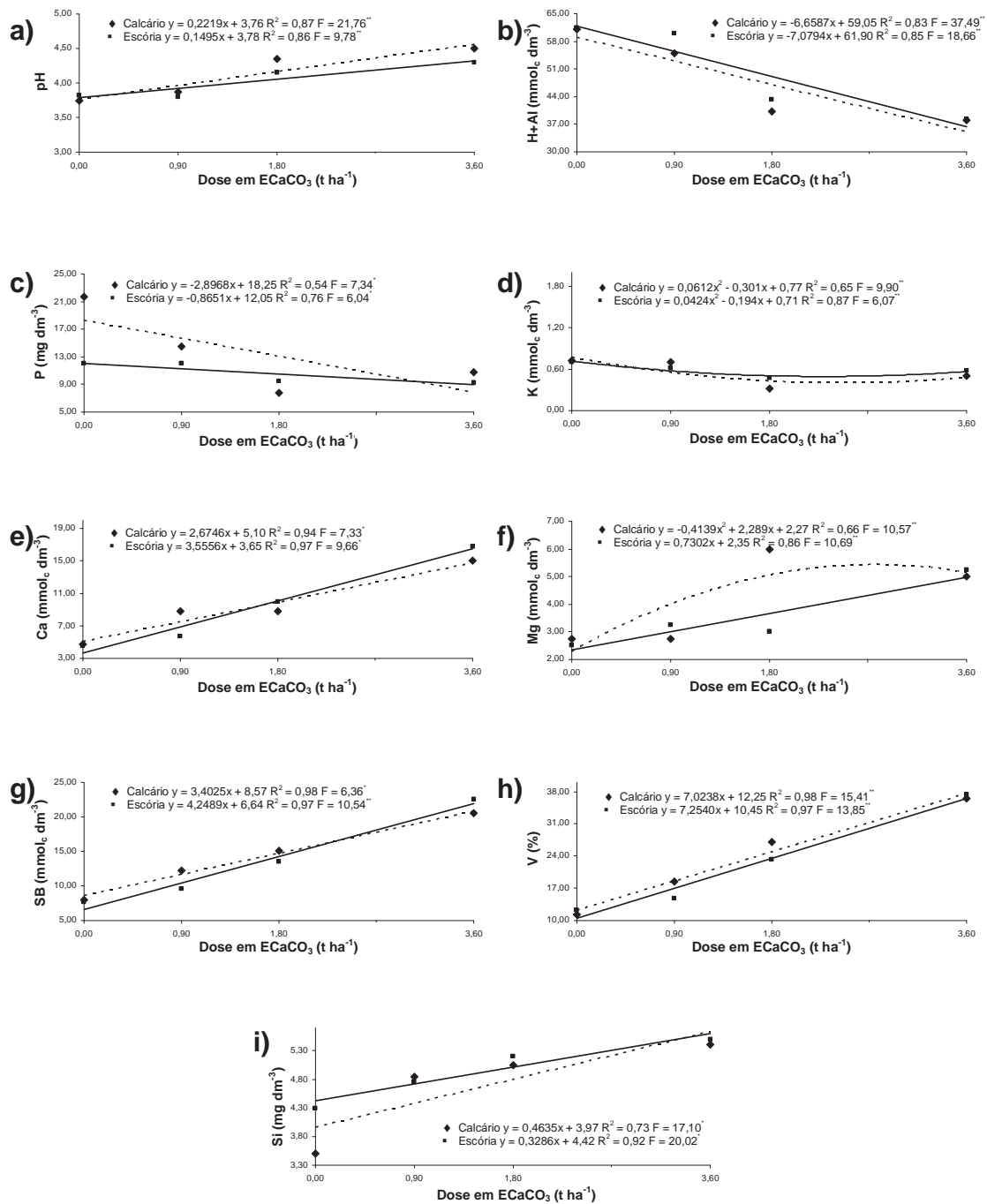
**Figura 2** – O pH do solo (a), H+Al (b), as concentrações de P (c), K (d), Ca (e), Mg (f), SB (g), valores de V (h) e concentração de Si (i), em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia aos 24 meses após a brotação da cana planta, na camada de 0-10 cm de profundidade. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

Com relação à concentração de Si no solo da camada de 0-10cm de profundidade (Figura 2i), notou-se um incremento com ajuste linear crescente em função das fontes e doses de ambos os materiais corretivos aplicados, sendo que a escória proporcionou maior incremento, enquanto que o calcário apesar de ter provocado um aumento significativo, essa variação foi muito pequena. Este fato pode ser observado quando se analisa o coeficiente angular da reta (Calcário 0,2740x e Escória 0,3197x), onde a aplicação da escória foi 14% superior que o calcário em aumentar a concentração de Si no solo em função da aplicação de  $1 \text{ t ha}^{-1} \text{ ECaCO}_3$ .

Na camada de 10-20 cm de profundidade, houve um aumento no valor de pH (Figura 3a) do solo com ajuste linear, bem como uma elevação com ajuste linear nas concentrações de Ca (Figura 3e) e Mg (Figura 3f), refletindo na soma de bases (Figura 3g) e na saturação por bases (Figura 3h) do solo em função do aumento das doses dos materiais corretivos aplicados, exceto para a concentração de Mg (Figura 3f), que houve um ajuste quadrático com a aplicação do calcário. Para a concentração de K (Figura 3d) houve incremento com ajuste quadrático para ambos os materiais corretivos aplicados, houve ainda um decréscimo com ajuste linear para a concentração de P (Figura 3c) no solo em função do aumento das doses dos materiais corretivos aplicados. Para a concentração de H+Al (Figura 3b), houve um decréscimo com ajuste linear para ambos os materiais corretivos aplicados mostrando semelhança no poder residual de ambos os corretivos aplicados.

Com relação à concentração de Si (Figura 3i), notou-se um incremento com ajuste linear crescente em função das doses dos materiais corretivos aplicados, porém a escória de siderurgia proporcionou um incremento na concentração de Si no solo 29% superior ao calcário. Observa-se uma semelhança entre os materiais corretivos utilizados, sobretudo nas variáveis H+Al e na saturação por bases.



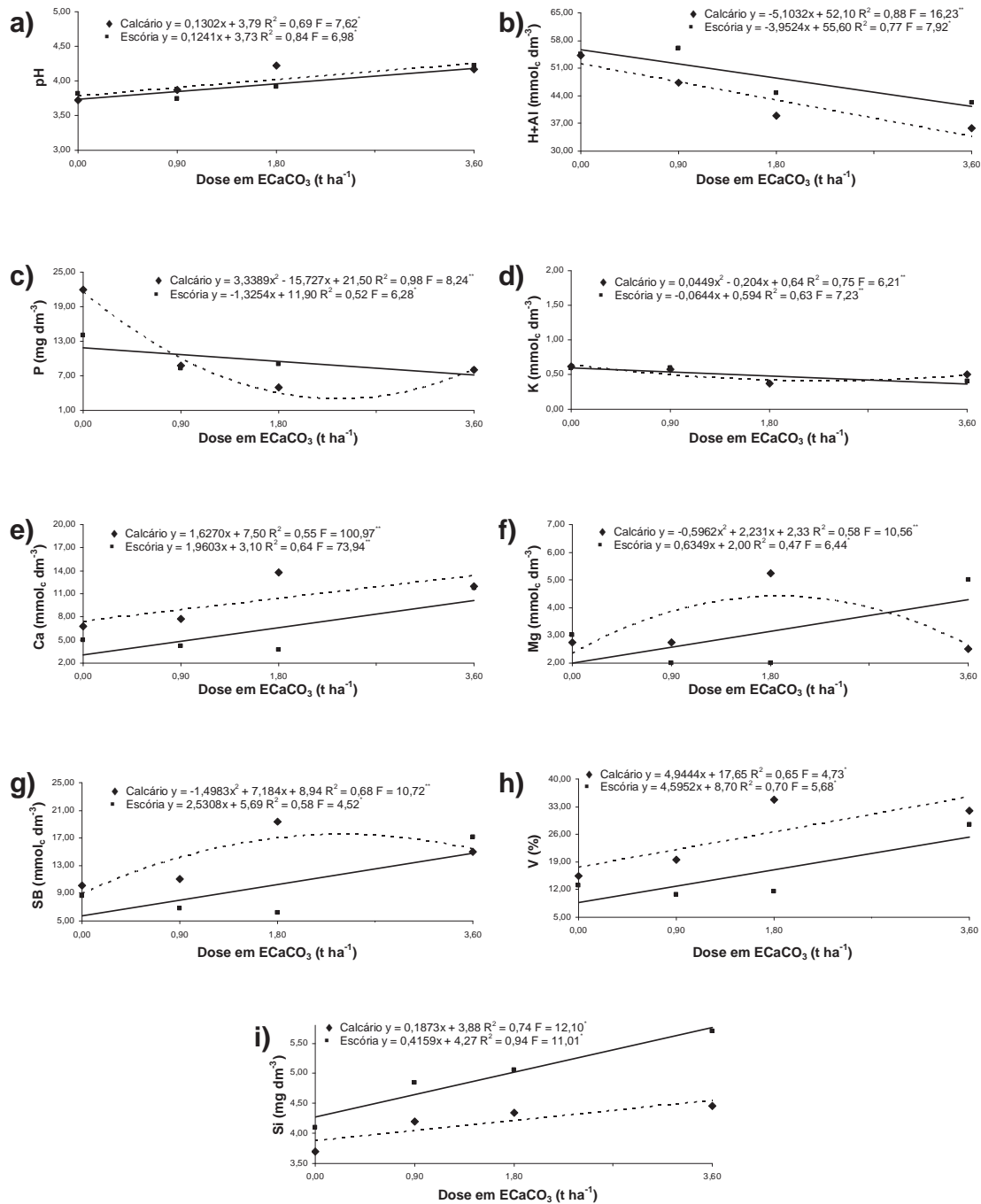


**Figura 3** – O pH do solo (a), H+Al (b), as concentrações de P (c), K (d), Ca (e), Mg (f), SB (g), valores de V (h) e concentração de Si (i), em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia aos 24 meses após a brotação da cana planta, na camada de 10-20 cm de profundidade. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

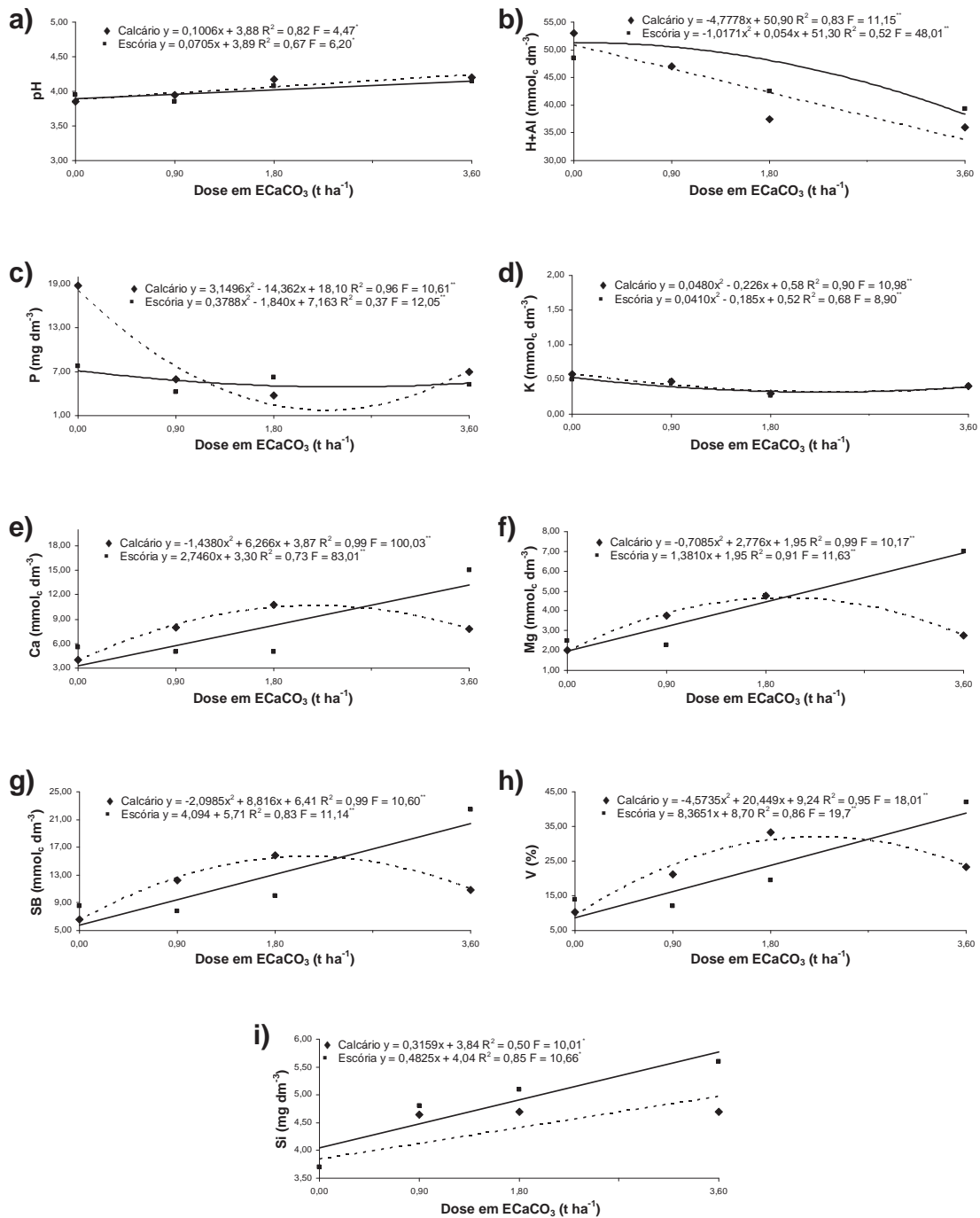
Com base nos resultados obtidos na camada de 20-40 cm de profundidade, o calcário mostrou-se semelhante a escória para os valores de pH (Figura 4a), as concentrações de Ca (Figura 4e) e no V% (Figura 4h), ambos com ajuste linear crescente em função de doses dos materiais corretivos aplicados. Diminuiu com ajuste linear decrescente a concentração de H+Al (Figura 4b), com maior incremento por parte do calcário. Houve efeito nas concentrações de Mg (Figura 4f) e soma de bases (Figura 4g) com ajuste quadrático em função da aplicação do calcário, oposto ao efeito da escória para estas variáveis que teve um ajuste linear crescente. Ainda, houve um efeito significativo na concentração de P (Figura 4c) e K (Figura 4d) no solo, que se obteve um ajuste quadrático em função da aplicação do calcário, contrastando com o efeito da escória para estas variáveis (Figura 4c; d) que teve ajuste linear decrescente.

Para a concentração de Si no solo percebeu-se um ajuste linear crescente em função da aplicação das doses de escória e calcário, de forma que o primeiro, apresentou um incremento na concentração de Si no solo de 55% superior ao calcário, fato este comprovado observando-se o coeficiente angular da reta (Figura 4i). Contudo, a reação do calcário foi superior na maioria das variáveis nesta camada, o que foi também constatado por MORELLI et al. (1992) que também observaram esse fato na reação do solo em subsuperfície, abaixo da camada mobilizada, em área cultivada com cana-de-açúcar submetida à aplicação de calcário.

Ainda aos 24 meses, foi avaliada a camada de 40-60 cm de profundidade, onde foi possível observar o efeito nos valores de pH (Figura 5a) de forma semelhante para ambos os materiais corretivos aplicados, ajustando-se de forma linear crescente. Para as concentrações de P (Figura 5c), K (Figura 5d), Ca (Figura 5e), Mg (Figura 5f), soma de bases (Figura 5g) e saturação por bases (Figura 5h) no solo, houve efeito com ajuste quadrático em função da aplicação do calcário. Para as concentrações de P (Figura 5c), K (Figura 5d) e H+Al (Figura 5b) houve um incremento com ajuste quadrático em função da escória de siderurgia aplicada, ainda, para esta última variável (Figura 5b), houve efeito decrescente com ajuste linear em função do aumento da aplicação de calcário, enquanto que para as demais (Figura 5e; f; g; h) houve efeito linear crescente em função do aumento da escória de siderurgia aplicada.



**Figura 4** – O pH do solo (a), H+Al (b), as concentrações de P (c), K (d), Ca (e), Mg (f), SB (g), valores de V (h) e concentração de Si (i), em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia aos 24 meses após a brotação da cana planta, na camada de 20-40 cm de profundidade. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.



**Figura 5** – O pH do solo (a), H+Al (b), as concentrações de P (c), K (d), Ca (e), Mg (f), SB (g), valores de V (h) e concentração de Si (i), em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia aos 24 meses após a brotação da cana planta, na camada de 40-60 cm de profundidade. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

Para a concentração de Si no solo (Figura 5i), houve um acréscimo com ajuste linear em função da aplicação das doses de ambos os materiais corretivos, percebendo-se ainda com o estudo do coeficiente angular da reta, um incremento de 35% superior para a escória de siderurgia em relação ao calcário. Entretanto, para esta camada, as semelhanças dos materiais corretivos alteraram, sendo a escória de siderurgia mais reativa para a maioria das variáveis. Os resultados do presente trabalho indicam efeito residual da escória de siderurgia no solo, concordando com PRADO et al. (2003) onde relataram que a utilização da escória de siderurgia em culturas anuais em outros países com um efeito residual favorável durante cinco anos, independente do pH inicial do solo.

## **5.2. Efeitos da aplicação da escória de siderurgia nos teores de metais pesados no solo**

Observou-se que a aplicação da escória de siderurgia no solo proporcionou efeito significativo para a concentração de Pb no solo, aos 18 meses após a brotação da cana planta e para o Ni e o Pb aos 24 meses após a brotação da cana planta, utilizando-se a metodologia da USEPA (Tabela 2). Enquanto as determinações do Cd utilizando-se a solução extratora Mehlich 3, não houve detecção nas leituras realizadas com absorção atômica (Tabela 3), e para todas as variáveis analisadas por esta metodologia não houveram efeito significativo, exceto para a concentração de Pb no solo aos 18 meses após a brotação da soqueira de cana-de-açúcar.

Observou-se um efeito com ajuste linear crescente na concentração de Ni aos 24 meses (Figura 6a) e de Pb aos 18 e 24 meses (Figura 6b), porém, para a concentração de Pb aos 18 meses deu-se um ajuste linear decrescente em função do aumento das doses de escória. Isto pode ser explicado segundo PIAU (1991), pelo fato da disponibilidade desses elementos tóxicos no solo serem diminuídas com o aumento do pH, com a formação de carbonatos e maior concentração de matéria orgânica no solo.

**Tabela 2** – Concentração de Cd, Cr, Ni e Pb no solo, extraídos pelo método da USEPA, aos 18 e 24 meses após a aplicação da escória, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função da aplicação da escória de siderurgia.

Doses de escória (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
	Cd	Cr	Ni	Pb
18 meses				
0	0,50	24,43	5,08	18,63
0,9	0,50	27,12	5,08	17,75
1,8	0,50	29,56	4,75	17,33
3,6	0,50	25,18	4,83	15,50
Teste F	---	3,36 <sup>NS</sup>	1,07 <sup>NS</sup>	17,11 <sup>**</sup>
C.V. (%)	---	9,3	6,7	4,2
24 meses				
0	0,50	24,56	4,25	16,25
0,9	0,50	26,25	5,20	17,50
1,8	0,50	26,37	5,00	17,50
3,6	0,50	25,68	5,25	17,75
Teste F	---	1,00 <sup>NS</sup>	7,33 <sup>**</sup>	8,11 <sup>**</sup>
C.V. (%)	---	6,4	6,9	2,5

\*\* e <sup>NS</sup> - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

**Tabela 3** – Concentração de Cd, Cr, Ni e Pb no solo, extraídos pela solução de MEHLICH 3, aos 18 e 24 meses após a aplicação da escória, na camada de 0-10 cm de profundidade, em função da aplicação da escória de siderurgia.

Doses de escória (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	----- mg kg <sup>-1</sup> -----			
	Cd	Cr	Ni	Pb
18 meses				
0	nd	0,20	nd	0,76
0,9	nd	0,10	0,20	0,85
1,8	nd	0,20	nd	1,19
3,6	nd	0,30	0,20	0,90
Teste F	---	---	---	17,58 <sup>**</sup>
C.V. (%)	---	---	---	9,5
24 meses				
0	nd	0,10	0,20	0,85
0,9	nd	0,20	0,20	0,87
1,8	nd	0,20	nd	0,85
3,6	nd	0,20	nd	1,00
Teste F	---	---	---	0,82 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	---	---	---	17,7

\*\* e <sup>NS</sup> - Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente.

CORRÊA et al. (2008) observaram que o aumento da CTC, associado ao aumento do pH, possibilitou maior adsorção dos metais pesados catiônicos pelos

colóides do solo, e a ligação do tipo covalente aos colóides, o que ajuda a explicar a baixa disponibilidade de metais pesados no solo.

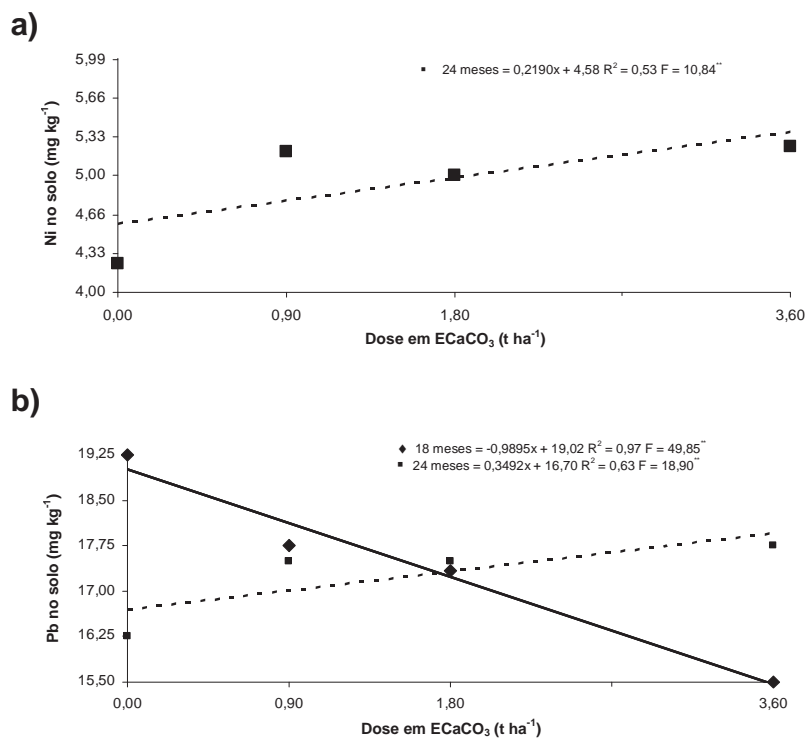
O teor total de Cr varia até  $120 \text{ mg kg}^{-1}$  (BARTLETT, 1976) em solos com pH (em  $\text{CaCl}_2$ ) menor que 6,0. Em um trabalho de incubação com materiais corretivos (escória de auto-forno, forno elétrico de redução, pré-cal e calcário) em solo, por 90 dias, PIAU (1991) verificou a concentração de Cd variando entre 0,07 a  $1,1 \text{ mg kg}^{-1}$  e de Ni inferior a  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para PIAU (1991) a concentração de Pb no solo é de  $70 \text{ mg kg}^{-1}$ , porém esta variação está entre 0,1 e  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  (DAVIES, 1977), os valores deste elemento obtidos nesse trabalho encontram-se bem abaixo.

Com relação às concentrações de Cr, Ni e Pb no solo, extraído com a solução de Mehlich 3 (Tabela 3), comparada às concentrações resultantes da extração pelo método da USEPA, esses valores se apresentaram bastante inferiores, observando-se efeito significativo para a concentração de Pb (Figura 7) no solo, aos 18 meses após a aplicação da escória de siderurgia no solo, com ajuste quadrático em função da aplicação da escória de siderurgia no solo. Segundo MATTIAZZO et al. (2001) é difícil haver um extrator que tenha boa correlação com as quantidades fitodisponíveis para todos os metais pesados no solo, no entanto, o DTPA pode ser mais eficiente que o extrator Mehlich 3 para a avaliação da disponibilidade desses elementos tóxicos no solo (Mantovani et al., 2004), e o USEPA, considerando um extrator total, tende a ser mais eficiente que o HCl, Mehlich 3 e DTPA.

Com relação à concentração de Cd no solo, com a utilização da solução extratora Mehlich 3 não foi possível detectar a presença do elemento, aos 18 e aos 24 meses após a aplicação da escória de siderurgia no solo. Isso, possivelmente, indica a necessidade de se utilizar equipamentos de maior sensibilidade nas leituras, como por exemplo a absorção atômica com forno de grafite, ou o ICPMS, ao invés da absorção atômica, a qual foi utilizada para a determinação neste trabalho. No entanto, para a determinação do Cd pela metodologia da USEPA, tanto aos 18 meses quanto aos 24 meses após a aplicação da escória, na camada de 0-10 cm de profundidade, os valores encontrados não apresentaram variação para serem submetidos à análise estatística,

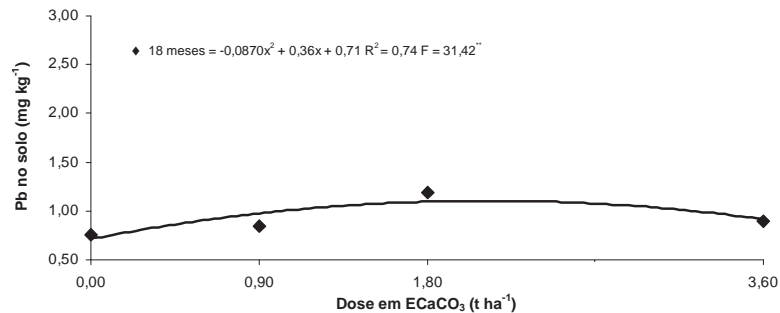
assim apresentam-se apenas as referidas médias (Tabela 2), assim como para os teores de Cd, Cr e Ni, extraídos por Mehlich 3 (Tabela 3).

Contudo, o incremento da escória de siderurgia no solo não foi suficiente para elevar as concentrações dos metais pesados (Cd, Cr, Ni e Pb) a níveis tóxicos segundo o CONAMA 375 (CONAMA, 2006), que limita para uso agrícola a concentração máxima permitida de Cd, Cr, Ni e Pb, respectivamente, 39; 1000; 420 e 300 mg kg<sup>-1</sup>.



**Figura 6** – Concentração de Ni aos 24 meses (a) e de Pb aos 18 e 24 meses (b) no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, na primeira soqueira da cana-de-açúcar, em função da aplicação da escória de siderurgia, extraídos pela metodologia da USEPA. \*\* - Significativo a 1% de probabilidade.





**Figura 7** – Concentração de Pb aos 18 meses no solo, na camada de 0-10 cm de profundidade, na primeira soqueira da cana-de-açúcar, em função da aplicação da escória de siderurgia, extraídos por Mehlich 3. \*\* - Significativo a 1% de probabilidade.

### 5.3. Efeitos dos tratamentos na planta

#### 5.3.1. Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento da cana soca (2º ciclo)

As fontes de materiais corretivos foram semelhantes para a altura, o número de perfilhos e o diâmetro dos perfilhos da soqueira de cana-de-açúcar aos 120 (Tabela 4) e para a altura, o número de colmos e o diâmetro dos colmos da soqueira de cana-de-açúcar aos 270 (Tabela 5) dias após a brotação (DAB) da cana soca (2º ciclo). A aplicação das doses dos materiais corretivos também não afetou significativamente a altura, o número de perfilhos e o diâmetro dos perfilhos aos 120 DAB (Tabela 4) e a altura e o diâmetro dos perfilhos aos 270 DAB (Tabela 5), entretanto, afetou o número de perfilhos aos 270 DAB (Tabela 5). Não houve interação entre fonte e doses para a altura, o número de perfilhos e o diâmetro dos perfilhos aos 120 DAB e 270 DAB (Tabelas 4 e 5). PRADO et al. (2003) também obtiveram efeitos semelhantes com a aplicação da escória de siderurgia e do calcário nas variáveis altura, perfilhamento e número de colmos em soqueira de cana-de-açúcar em um Latossolo Vermelho-Amarelo alumínico.

**Tabela 4** – Crescimento da cana-de-açúcar, em função de fontes e doses de materiais corretivos aplicados no solo, aos 120 dias após a brotação (DAB) da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	Altura	Número de perfilhos	Diâmetro dos perfilhos
	cm		mm
<b>Fontes (F)</b>			
Calcário	32,45	42,50	13,4
Escória de Siderurgia	32,00	45,31	14,1
Teste F	0,52 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>	2,65 <sup>NS</sup>
<b>Doses (D)</b>			
0 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	32,92	39,62	13,1
0,9 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	31,70	44,12	14,0
1,8 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	32,20	45,00	13,9
3,6 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	32,05	46,87	14,3
Teste F	0,62 <sup>NS</sup>	0,52 <sup>NS</sup>	1,23 <sup>NS</sup>
<b>Teste F</b>			
(F) x (D)	0,45 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	5,7	27,6	9,3

NS: Não significativo.

**Tabela 5** – Crescimento da cana-de-açúcar, em função de fontes e doses de materiais corretivos aplicados no solo, aos 270 dias após a brotação (DAB) da cana soca (2º ciclo).

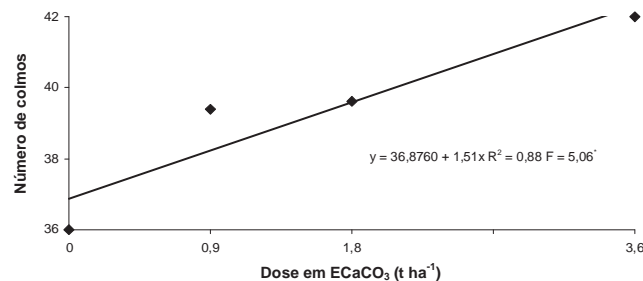
Tratamentos	Altura	Número de colmos	Diâmetro dos colmos
	cm		mm
<b>Fontes (F)</b>			
Calcário	251,04	38,50	27,8
Escória de Siderurgia	251,92	40,00	27,9
Teste F	0,08 <sup>NS</sup>	2,25 <sup>NS</sup>	0,19 <sup>NS</sup>
<b>Doses (D)</b>			
0 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	250,25	36,00	27,3
0,9 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	250,20	39,38	27,5
1,8 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	253,08	39,62	28,2
3,6 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	252,39	42,00	28,1
Teste F	0,2 <sup>NS</sup>	6,10 <sup>**</sup>	2,00 <sup>NS</sup>
<b>Teste F</b>			
(F) x (D)	0,45 <sup>NS</sup>	2,10 <sup>NS</sup>	0,89 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	3,6	7,2	3,0

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1% de probabilidade.

A ausência de efeitos dos materiais corretivos nas variáveis de crescimento, altura e diâmetro do perfilho aos 120 e altura e diâmetro de colmos, da cana-de-açúcar aos 270 dias após a brotação da cana soca (2º ciclo), possivelmente deve-se as

características da variedade empregada no plantio. Utilizou-se a variedade, RB855156, que possui um elevado entouceiramento, principalmente na soca, tendo uma alta precocidade, ótima capacidade de brotação de soqueiras e tem pouca exigência em relação à fertilidade do solo (ROSSETO et al., 2008).

Observou-se que a aplicação de doses promoveu um incremento com ajuste linear no número de colmos da cana soca (2º ciclo) aos 270 DAB da cana soca (2º ciclo) (Figura 8). Esse efeito na avaliação de crescimento quanto ao aumento do número de colmos da cana-de-açúcar foi também constatado por OLIVEIRA et al. (2004).



**Figura 8** – Número de colmos da cana soca (2º ciclo) aos 270 DAB em função da dose de escória aplicada. \*: Significativo a 5% de probabilidade.

O número de perfilhos médio aos 120 DAB da cana soca (2º ciclo) foi de 43,90 (Tabela 4) e o de colmos aos 270 DAB da cana soca (2º ciclo) foi de 39,25 perfilhos (Tabela 5), o que diminuiu ao longo do desenvolvimento da cultura. Esse fato da diminuição do perfilhamento com o desenvolvimento da cana-de-açúcar foi também constatado por OLIVEIRA et al. (2004), os quais observaram que o máximo de perfilhamento utilizando para cana planta o cultivar RB855536 e RB72454, com 23 e 14 perfilhos por metro, respectivamente, aos 182 dias após plantio (DAP), ocorreu uma redução de 57% e 27%, respectivamente, até o momento da colheita (497 DAP).

Quanto ao diâmetro dos colmos, apresentou um diâmetro médio máximo de 13,8 e 27,8 mm, respectivamente, aos 120 (Tabela 4) e 270 DAB da cana soca (2º ciclo) (Tabela 5). Esses resultados são próximos aqueles obtidos por OLIVEIRA et al. (2004),

ao trabalharem com cultivares de cana-de-açúcar, observaram um diâmetro do colmo médio de 28,8 mm aos 377 DAP.

Numa faixa de 150 dias, entre período de 120 a 270 dias após a brotação, a altura dos perfilhos aumentou em média 219,26 cm, isto aconteceu entre os meses de agosto e janeiro, quantificando um crescimento médio da planta de  $1,46 \text{ cm dia}^{-1}$ . Não obstante, OLIVEIRA et al. (2004) puderam observar nas cultivares estudadas um aumento na altura atingindo maiores valores em outubro (279 DAP) e novembro (377 DAP), no entanto, a cultivar RB855536 apresentou um aumento na altura de 99,2 cm, no intervalo de 44 dias (279 a 323 DAP), correspondendo a um acréscimo de  $2,25 \text{ cm.dia}^{-1}$  durante este período. Contudo, pode-se constatar que nos meses mais quentes do ano há um aumento da altura das plantas, isto foi constatado por SUGUITANI (2001) e MIOCQUE (1999) que observaram maiores alturas de novembro a março, atingindo um aumento na altura do perfilho de 57 a 62%.

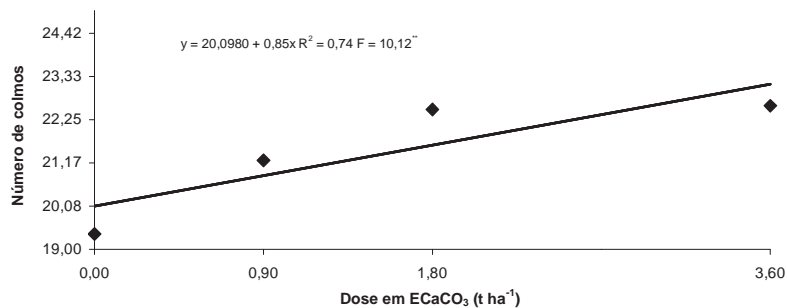
As fontes de materiais corretivos foram semelhantes para a altura, o número de colmos e o diâmetro dos colmos da soqueira de cana-de-açúcar aos 390 dias após a brotação (DAB). A aplicação das doses dos materiais corretivos também não afetou significativamente a altura e o diâmetro dos colmos (Tabela 6), afetando apenas o número de colmos. Não houve interação entre fontes e doses aplicadas.

**Tabela 6** – Crescimento da cana-de-açúcar, em função de fontes e doses de materiais corretivos aplicados no solo, aos 390 dias após a brotação (DAB) da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	Altura cm	Número de colmos	Diâmetro dos colmos mm
<b>Fontes (F)</b>			
Calcário	302,43	21,43	27,94
Escória de Siderurgia	312,37	21,43	28,14
Teste F	3,68 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>
<b>Doses (D)</b>			
0 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	297,98	19,37	27,27
0,9 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	305,73	21,25	27,69
1,8 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	312,32	22,50	28,54
3,6 (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	313,56	22,62	28,67
Teste F	1,91 <sup>NS</sup>	4,51 <sup>**</sup>	2,31 <sup>NS</sup>
<b>Teste F</b>			
(F) x (D)	0,18 <sup>NS</sup>	1,88 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	4,8	9,4	4,5

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade.

Observou-se que as aplicações de doses promoveram um incremento com ajuste linear no número de colmos da soqueira de cana-de-açúcar aos 390 DAB (Figura 9).



**Figura 9** – Número de colmos aos 390 DAB da cana soca (2º ciclo) em função da dose de materiais corretivos aplicados no solo. \*\* - Significativo a 1 % de probabilidade.

### 5.3.2. Efeitos dos tratamentos no estado nutricional da cana soca (2º ciclo)

Os teores foliares dos nutrientes, aos nove meses após a brotação da cana soca (2º ciclo), não foram afetados pelas fontes de materiais corretivos aplicados (Tabela 7). Essa semelhança de resultados entre os materiais corretivos quanto aos teores foliares de macronutrientes da cana-de-açúcar, também foi constatada por PRADO e FERNANDES, (2000a) e PRADO et al. (2002b), em cana planta cultivada em casa de vegetação.

Observou-se que as doses dos materiais corretivos não afetaram os teores foliares de nutrientes e de Si analisados, exceto para Mn e Zn, e ainda, houve interação entre fontes e doses apenas para o Mn e o Si (Tabela 7).

A ausência da resposta nos teores de macronutrientes na soqueira da cana-de-açúcar submetida à aplicação dos materiais corretivos, provavelmente, deve-se, ao fato de que na época da coleta da folha diagnóstica (folha+1) a concentração dos nutrientes se diluiu com o maior crescimento da planta, fato amplamente relatado por (JARRELL e BEVERLY, 1981), contudo, esta alta quantidade de biomassa na planta implica num efeito diluição, refletindo-se assim na não alteração significativamente dos teores foliares.

Para o teor foliar de Mn observou-se que, houve um incremento, com ajuste quadrático, com ponto de máximo de 99,76 mg kg<sup>-1</sup> na dose de 1,08 t ha<sup>-1</sup> de ECaCO<sub>3</sub> em função das doses de escória aplicadas, e para o calcário, houve uma diminuição, com ajuste linear, em função das doses aplicadas (Figura 10a). Para o teor de Si, observou-se incremento, com ajuste quadrático, em função das doses aplicadas de calcário e de escória de siderurgia (Figura 10b), destacando-se a escória na maior dose utilizada.

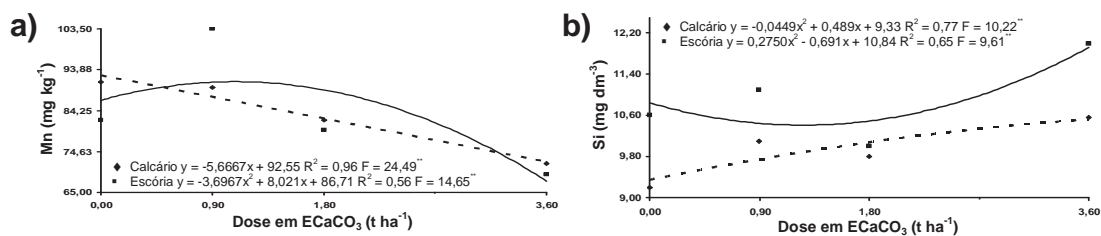
Para os micronutrientes, quando se confrontou os teores de B, Cu, Fe, Mn e Zn, na folha +1 (Tabela 7), com a faixa classificada como adequada por Raij e Cantarella (1997): B=10-30; Cu=6-15; Fe=40-250; Mn=25-250 e Zn=10-50 mg kg<sup>-1</sup>; os três primeiros micronutrientes apresentaram-se um pouco abaixo da mesma. Já os teores de Mn e Zn (Tabela 7) encontraram-se na faixa adequada segundo os mesmos autores.

**Tabela 7** – Teores foliares de macronutrientes, micronutrientes e silício em função da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos no solo, aos nove meses após a brotação da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					Si g kg <sup>-1</sup>
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Calcário	18,9	2,1	13,2	5,2	1,9	2,3	7	6	39	83	15	10,0
Escória de Siderurgia	18,9	2,1	12,9	5,0	1,9	2,3	9	5	39	83	16	10,3
	<b>Teste F</b>											
Fonte (F)	0,06 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>	0,48 <sup>NS</sup>	0,62 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	0,09 <sup>NS</sup>	1,00 <sup>NS</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	2,61 <sup>NS</sup>	1,55 <sup>NS</sup>
Dose (D)	0,50 <sup>NS</sup>	0,25 <sup>NS</sup>	0,61 <sup>NS</sup>	1,43 <sup>NS</sup>	1,70 <sup>NS</sup>	0,72 <sup>NS</sup>	0,80 <sup>NS</sup>	1,04 <sup>NS</sup>	1,95 <sup>NS</sup>	25,94 <sup>**</sup>	4,02 <sup>*</sup>	1,82 <sup>NS</sup>
(F) x (D)	0,37 <sup>NS</sup>	0,02 <sup>NS</sup>	1,68 <sup>NS</sup>	0,76 <sup>NS</sup>	0,70 <sup>NS</sup>	1,79 <sup>NS</sup>	1,23 <sup>NS</sup>	2,16 <sup>NS</sup>	0,54 <sup>NS</sup>	5,11 <sup>**</sup>	0,66 <sup>NS</sup>	4,85 <sup>*</sup>
C.V. (%)	5,6	7,1	8,8	12,3	10,9	7,9	57,8	12,4	11,7	7,2	9,7	6,0

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade. \*: Significativo a 5 % de probabilidade.

Nota-se que as faixas indicadas como adequadas variam, principalmente em relação aos micronutrientes, e os valores observados neste trabalho apresentam-se bem próximos da faixa considerada como adequada para a cultura da cana-de-açúcar indicada por Raij e Cantarella (1997). Entretanto, apesar de se ter observado diferenças com relação aos teores foliares dos micronutrientes Mn e Zn em função da aplicação das doses dos materiais corretivos (Tabela 7), esta ainda foi muito pequena, sendo pouco importante agronomicamente, já que não foi suficiente para influenciar no crescimento da cana-de-açúcar.



**Figura 10** – Teor foliar de Mn (a) e Si (b) na folha (+1) da cana soca (2º ciclo), em função da aplicação de doses de calcário e de escória de siderurgia, na correção da acidez do solo, antes da colheita. \*\* - Significativo a 1 % de probabilidade.

Nota-se que vários fatores podem afetar o teor foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, relatados na literatura, a exemplo da idade da cultura, bem como variações climáticas, conforme relatado por GOMEZ ALVAREZ (1974). Saliente-se que, a avaliação dos materiais corretivos ocorreu na primeira soqueira da cana-de-açúcar, e como se trata de uma cultura semi-perene (média de 6 cortes), espera-se que os efeitos dos tratamentos na planta sejam mais lentos e pronunciados a medida em que se avança o ciclo da cultura.

Com relação aos teores de macronutrientes, micronutrientes e silício, nas folhas da cana soca (2º ciclo), no momento da colheita (aos 12 meses após a brotação), não houve efeito significativo para fontes. Porém, observou-se efeito de doses para os nutrientes P, Ca e Mg e também para o micronutriente B (Tabela 8).



Ainda, houve efeito significativo de interação entre fontes e doses dos materiais corretivos aplicados para o micronutriente B e para os macronutrientes e demais micronutrientes e o silício não houve diferenças significativas (Tabela 8).

Houve efeito da interação entre fontes e doses do material corretivo aplicado sobre os teores de B nas folhas da cana soca (2º ciclo) (Figura 11a), com ajuste quadrático para ambas as fontes de materiais corretivos aplicados no solo.

Com relação aos teores de macronutrientes, micronutrientes e silício, nos colmos da cana soca (2º ciclo), no momento da colheita (aos 12 meses após a brotação), não houve efeito significativo para fontes, exceto para o silício. No entanto, observou-se efeito de doses para os macronutrientes N, K e Ca e também para os micronutrientes B e Zn e também para o elemento benéfico, silício (Tabela 9).

Observou-se também, efeito significativo de interação entre fontes e doses dos materiais corretivos aplicados para o macronutriente K, o micronutriente B e para o elemento benéfico silício, para os demais macronutrientes, micronutrientes não houveram diferenças significativas (Tabela 9).

Para o teor de K nos colmos (Figura 11b), quando se aplicou calcário houve incremento com ajuste quadrático e houve um acréscimo com ajuste linear em função das doses de escória. Para o micronutriente B no colmo da soqueira de cana-de-açúcar verificou-se um acréscimo linear para ambas as fontes e doses (Figura 11c). O elemento benéfico Si apresentou ajuste quadrático para ambas as fontes em função das doses de materiais aplicados (Figura 11d).

**Tabela 8** – Teores foliares de macronutrientes, micronutrientes e silício em função da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos no solo, aos doze meses após a brotação da cana soca (2º ciclo).

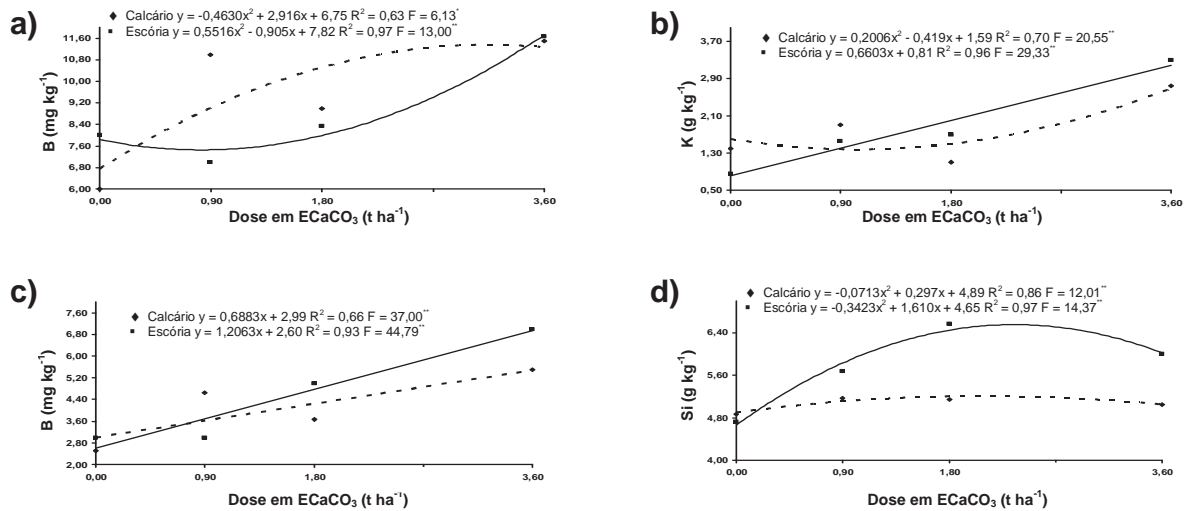
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>			g kg <sup>-1</sup>		
Fontes (F)												
Calcário	7,2	0,7	5,3	3,5	1,3	2,0	9	5	174	155	14	11,0
Escória de Siderurgia	7,4	0,7	5,7	3,6	1,4	2,0	8	5	164	160	14	11,4
Doses (D)												
0 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	7,1	0,6	5,9	3,2	1,1	2,0	7	5	176	168	13	11,6
0,9 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	7,2	0,7	5,6	3,4	1,2	1,8	9	4	158	165	13	11,0
1,8 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	8,0	0,7	6,1	3,8	1,4	2,2	8	4	180	156	15	11,4
3,6 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	6,9	0,6	4,5	3,9	1,4	2,0	10	4	162	141	15	10,9
<b>Teste F</b>												
Fonte (F)	0,50 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>	0,84 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>	1,44 <sup>NS</sup>	0,29 <sup>NS</sup>	1,32 <sup>NS</sup>	0,04 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>	0,27 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	2,11 <sup>NS</sup>
Dose (D)	1,64 <sup>NS</sup>	4,02 <sup>*</sup>	2,34 <sup>NS</sup>	5,31 <sup>**</sup>	7,21 <sup>**</sup>	2,46 <sup>NS</sup>	6,73 <sup>**</sup>	0,81 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>	1,46 <sup>NS</sup>	1,12 <sup>NS</sup>	2,70 <sup>NS</sup>
(F) x (D)	0,93 <sup>NS</sup>	1,75 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	1,84 <sup>NS</sup>	0,72 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	8,34 <sup>**</sup>	1,52 <sup>NS</sup>	0,84 <sup>NS</sup>	1,10 <sup>NS</sup>	0,20 <sup>NS</sup>	0,71 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	14,6	16,2	23,7	11,7	13,3	17,9	15,1	38,9	21,5	17,7	20,8	5,6

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade. \*: Significativo a 5 % de probabilidade. F= fonte de material corretivo; D= dose de material corretivo.

**Tabela 9** – Teores de macronutrientes, micronutrientes e silício, nos colmos em função da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos no solo, aos doze meses após a brotação da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	g kg <sup>-1</sup>						mg kg <sup>-1</sup>					
Fontes (F)												
Calcário	2,8	0,3	1,6	0,8	0,8	1,0	3,7	2,4	37,3	53,3	8,7	5,1
Escória de Siderurgia	2,5	0,3	1,7	0,7	0,8	0,8	4,4	2,4	41,5	48,8	7,6	5,7
Doses (D)												
0 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	2,4	0,2	1,2	0,7	0,7	0,9	3,5	1,7	29,5	57,5	6,2	4,8
0,9 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	2,6	0,3	1,7	0,7	0,8	0,8	3,5	2,7	43,7	54,3	7,2	5,4
1,8 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	2,6	0,3	1,2	0,7	0,8	1,0	3,2	2,5	39,2	44,5	6,4	5,8
3,6 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	3,0	0,4	2,5	0,9	0,9	0,9	6,1	2,7	45,4	48,0	12,6	5,5
<b>Teste F</b>												
Fonte (F)	3,83 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,56 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	0,72 <sup>NS</sup>	4,00 <sup>NS</sup>	2,39 <sup>NS</sup>	0,00 <sup>NS</sup>	0,76 <sup>NS</sup>	0,92 <sup>NS</sup>	2,21 <sup>NS</sup>	13,74 <sup>**</sup>
Dose (D)	3,63 <sup>*</sup>	2,94 <sup>NS</sup>	10,53 <sup>**</sup>	3,74 <sup>*</sup>	2,35 <sup>NS</sup>	1,32 <sup>NS</sup>	9,36 <sup>**</sup>	1,72 <sup>NS</sup>	2,20 <sup>NS</sup>	1,62 <sup>NS</sup>	16,05 <sup>**</sup>	5,82 <sup>**</sup>
(F) x (D)	0,48 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>	4,22 <sup>*</sup>	1,42 <sup>NS</sup>	1,03 <sup>NS</sup>	0,26 <sup>NS</sup>	9,57 <sup>**</sup>	1,91 <sup>NS</sup>	1,20 <sup>NS</sup>	0,12 <sup>NS</sup>	1,57 <sup>NS</sup>	3,33 <sup>*</sup>
C.V. (%)	13,8	19,4	31,3	12,1	12,6	29,9	30,6	21,3	34,4	25,6	26,3	9,6

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade. \*: Significativo a 5 % de probabilidade. F= fonte de material corretivo; D= dose de material corretivo.



**Figura 11** – Teor de B nas folhas (a), teor de K nos colmos (b), teor de B nos colmos (c) e teor de Si nos colmos (d), em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia, aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

O acúmulo de nutrientes nas folhas da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo) em função da aplicação de fontes e doses de material corretivo não apresentou efeito significativo para fontes, doses e interação entre fontes e doses dos materiais corretivos utilizados (Tabela 10).

Com relação ao acúmulo de macronutrientes, micronutrientes e silício nos colmos, no momento da colheita, aos 12 meses após a brotação da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo), não houve diferenças significativas para as fontes de materiais corretivos utilizados, exceto para o elemento benéfico silício (Tabela 11). No entanto, observou-se efeito significativo de doses para o acúmulo do macronutriente K e o micronutriente Zn, efeito contrário para os demais nutrientes e o silício, com relação às doses de materiais corretivos aplicados (Tabela 11).

Observou-se ainda interação entre fontes e doses em função dos materiais corretivos aplicados para o micronutriente B. Para os macronutrientes, demais micronutrientes e o silício não houve diferenças significativas (Tabela 11).

Para o acúmulo do micronutriente B no colmo da soqueira de cana-de-açúcar verificou-se um acréscimo com ajuste linear para ambas as fontes e doses (Figura 12).

O Si foi o elemento mais acumulado na folha e no colmo da soqueira de cana-de-açúcar, onde, observou-se uma extração de 194 e 245 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para os macronutrientes na folha a ordem de extração foi N>K>Ca>S>Mg>P e no colmo a ordem foi N>K>S>Mg>Ca>P (Tabelas 10 e 11) para ambos as fontes de materiais corretivos.

**Tabela 10** – Acúmulo de macronutrientes, micronutrientes e silício, nas folhas, em função da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos no solo, aos doze meses após a brotação da cana soca (2º ciclo).

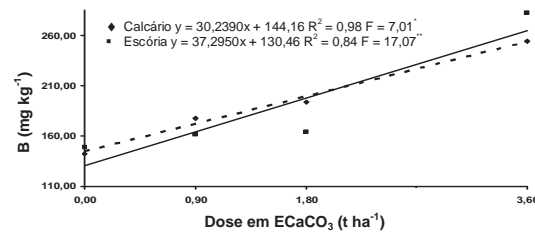
Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>					
Fontes (F)												
Calcário	107,8	10,0	80,3	53,5	19,2	30,5	138	69	2555	2251	218	163
Escória de Siderurgia	123,8	11,2	94,3	60,2	22,4	33,1	146	79	2796	2754	243	194
Doses (D)												
0 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	99,2	8,9	77,6	45,7	16,1	28,2	108	83	2509	2371	192	167
0,9 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	123,1	12,0	97,0	56,9	19,8	30,4	160	68	2774	2826	229	189
1,8 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	127,6	12,0	97,9	59,4	22,8	34,8	136	77	2733	2465	255	178
3,6 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	113,4	9,6	76,6	65,5	24,5	33,7	163	68	2687	2349	247	179
<b>Teste F</b>												
Fonte (F)	1,42 <sup>NS</sup>	1,42 <sup>NS</sup>	2,08 <sup>NS</sup>	1,06 <sup>NS</sup>	1,83 <sup>NS</sup>	0,49 <sup>NS</sup>	0,25 <sup>NS</sup>	0,50 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>	1,83 <sup>NS</sup>	0,59 <sup>NS</sup>	1,82 <sup>NS</sup>
Dose (D)	0,88 <sup>NS</sup>	2,36 <sup>NS</sup>	1,48 <sup>NS</sup>	1,62 <sup>NS</sup>	2,36 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>	2,44 <sup>NS</sup>	0,28 <sup>NS</sup>	0,10 <sup>NS</sup>	0,35 <sup>NS</sup>	0,74 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>
(F) x (D)	0,74 <sup>NS</sup>	0,27 <sup>NS</sup>	1,03 <sup>NS</sup>	0,34 <sup>NS</sup>	0,50 <sup>NS</sup>	0,69 <sup>NS</sup>	0,64 <sup>NS</sup>	1,05 <sup>NS</sup>	1,70 <sup>NS</sup>	0,65 <sup>NS</sup>	0,92 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	32,6	27,3	31,3	32,3	32,3	32,9	32,4	31,8	38,8	42,0	39,7	36,2

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade. \*: Significativo a 5 % de probabilidade. F= fonte de material corretivo; D= dose de material corretivo.

**Tabela 11** – Acúmulo de macronutrientes, micronutrientes e silício, nos colmos, em função da aplicação de fontes e doses dos materiais corretivos no solo, aos doze meses após a brotação da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Si
	kg ha <sup>-1</sup>						g ha <sup>-1</sup>					
Fontes (F)												
Calcário	102,3	11,6	58,6	28,5	30,4	39,2	138	86	1337	1891	327	186
Escória de Siderurgia	108,9	13,2	75,0	32,2	34,2	35,2	182	107	1829	2081	312	245
Doses (D)												
0 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	89,0	10,6	45,6	27,2	28,9	35,6	131	62	1161	2181	229	180
0,9 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	109,0	12,6	75,3	30,5	32,8	33,6	152	114	1908	2177	316	230
1,8 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	112,3	13,3	50,6	32,0	34,7	44,9	140	109	1649	1868	268	249
3,6 t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>	112,3	13,1	95,6	31,7	32,8	34,5	216	101	1614	1720	465	202
<b>Teste F</b>												
Fonte (F)	0,33 <sup>NS</sup>	1,08 <sup>NS</sup>	2,23 <sup>NS</sup>	1,96 <sup>NS</sup>	1,32 <sup>NS</sup>	0,69 <sup>NS</sup>	4,15 <sup>NS</sup>	1,14 <sup>NS</sup>	3,72 <sup>NS</sup>	0,46 <sup>NS</sup>	0,08 <sup>NS</sup>	6,63 <sup>*</sup>
Dose (D)	0,94 <sup>NS</sup>	0,65 <sup>NS</sup>	4,42 <sup>*</sup>	0,69 <sup>NS</sup>	0,56 <sup>NS</sup>	1,18 <sup>NS</sup>	3,04 <sup>NS</sup>	1,51 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>	4,18 <sup>*</sup>	1,79 <sup>NS</sup>
(F) x (D)	0,71 <sup>NS</sup>	0,67 <sup>NS</sup>	0,94 <sup>NS</sup>	0,37 <sup>NS</sup>	0,59 <sup>NS</sup>	0,19 <sup>NS</sup>	3,70 <sup>*</sup>	1,42 <sup>NS</sup>	2,17 <sup>NS</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	0,07 <sup>NS</sup>	0,91 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	30,9	35,5	46,6	24,3	28,3	36,5	38,7	32,8	45,6	39,9	44,5	30,0

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade. \*: Significativo a 5 % de probabilidade. F= fonte de material corretivo; D= dose de material corretivo.



**Figura 12** – Acúmulo de B nos colmos, em função da aplicação de calcário e da escória de siderurgia, aos doze meses após a brotação da cana soca (2º ciclo). \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

Com relação à concentração dos metais pesados determinados na folha e na parte aérea da cana soca (2º ciclo), notou-se um efeito significativo para Cr, Ni e Pb, nos colmos não houveram efeitos significativos. Para o elemento Cd, na folha, no colmo e na parte aérea, não foi possível detectar a sua presença (Tabela 12). Salienta-se que os teores de Cd na matéria seca das plantas variam de 0,1 a 5 mg kg<sup>-1</sup> (KABATA e PENDIAS, 1984; TISDALE et al., 1985), não obstante, observou-se que as doses de escória de siderurgia aplicadas não foram suficientes para provocar incrementos de alguma natureza na parte aérea das plantas.

Observou-se na parte aérea da cana soca (2º ciclo) um efeito com ajuste quadrático na concentração de Cd, Ni e Pb, em função do aumento das doses da escória (Figura 13a; b; c). O que pode explicar tal situação seria o fato de que a elevação do pH afeta na diminuição da disponibilidade desses elementos tóxicos para a planta, bem como a concentração de carbonatos e maior concentração de matéria orgânica no solo, segundo PIAU (1991).

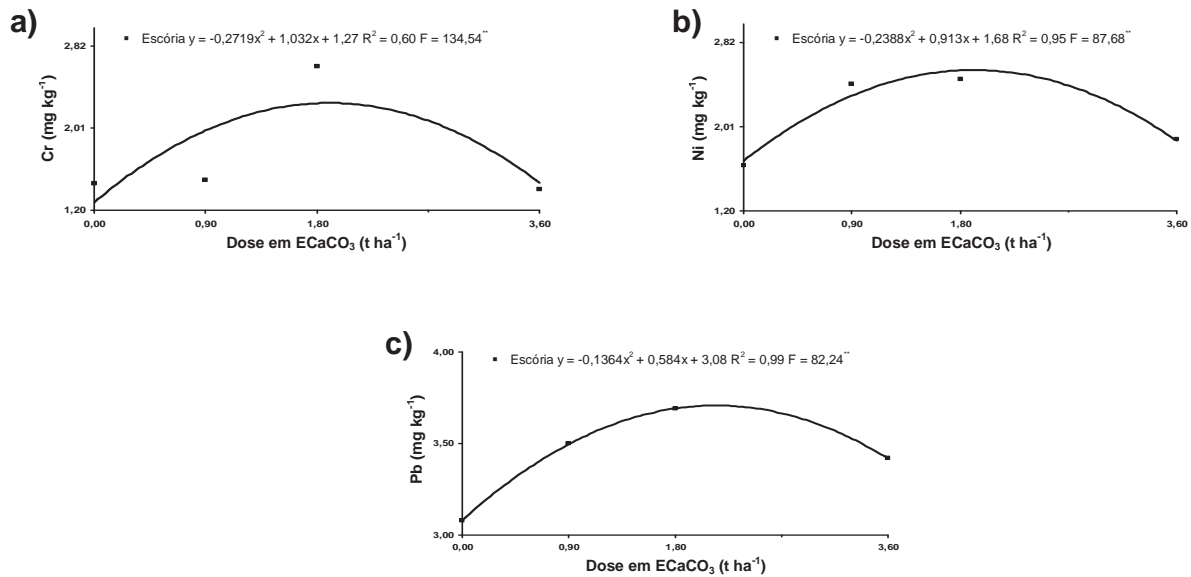
O teor total de Ni varia de 1 a 300 mg kg<sup>-1</sup> na matéria seca das plantas (KABATA E PENDIAS, 1984; TISDALE et al., 1985), assim, os valores deste elemento determinados neste trabalho são bem menores, os quais corroboram com os valores determinados por PIAU (1995), trabalhando com três tipos de escória que não incrementaram a absorção de Ni em plantas de milho.



**Tabela 12** – Concentração de Cd, Cr, Ni e Pb na folha, no colmo e na parte aérea, aos 12 meses após a brotação da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo), em função da aplicação da escória de siderurgia.

Doses de escória (t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub> )	mg kg <sup>-1</sup>			
	Cd	Cr	Ni	Pb
Folha				
0	nd	1,37	1,49	2,72
0,9	nd	1,40	2,09	3,01
1,8	nd	2,51	2,23	3,24
3,6	nd	1,32	1,79	2,96
Teste F	---	76,24**	31,53**	33,94**
C.V. (%)	---	7,9	6,1	2,4
Colmo				
0	nd	0,09	0,15	0,36
0,9	nd	0,10	0,33	0,49
1,8	nd	0,11	0,24	0,45
3,6	nd	0,09	0,10	0,46
Teste F	---	0,37 <sup>NS</sup>	3,18 <sup>NS</sup>	1,47 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	---	31,5	56,1	21,2
Parte aérea				
0	nd	1,46	1,64	3,08
0,9	nd	1,50	2,42	3,50
1,8	nd	2,62	2,47	3,69
3,6	nd	1,41	1,89	3,42
Teste F	---	58,26**	18,74**	12,15**
C.V. (%)	---	8,7	8,9	4,2

\*, \*\* e <sup>NS</sup> - Significativo a 5% e a 1% de probabilidade e não-significativo a 5% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente. (nd= não detectado).



**Figura 13** – Teor de Cr (a), Ni (b) e Pb (c) na parte aérea da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo), em função da aplicação de escória de siderurgia, aos doze meses após a brotação da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo). \*\* - Significativo 1% de probabilidade.

### 5.3.3. Efeitos dos tratamentos na matéria seca, produção e qualidade da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo)

Observou-se efeito significativo de fontes para a massa de matéria seca de folhas, de colmos e da parte aérea em função das doses e fontes de materiais corretivos aplicados. Houve também, efeito significativo de doses para a massa de matéria seca de folha e parte aérea, o contrário aconteceu para massa de matéria seca de colmo (Tabela 13).

Ainda, observou-se efeito significativo de interação de fontes e doses de materiais corretivos aplicados no solo em todas as variáveis analisadas (Tabela 13).

Notou-se que a aplicação dos materiais corretivos na forma de calcário promoveu incremento com ajuste linear no acúmulo de massa seca de folhas, entretanto com o uso da escória de siderurgia não houve ajuste nos modelos testados (Figura 14a).

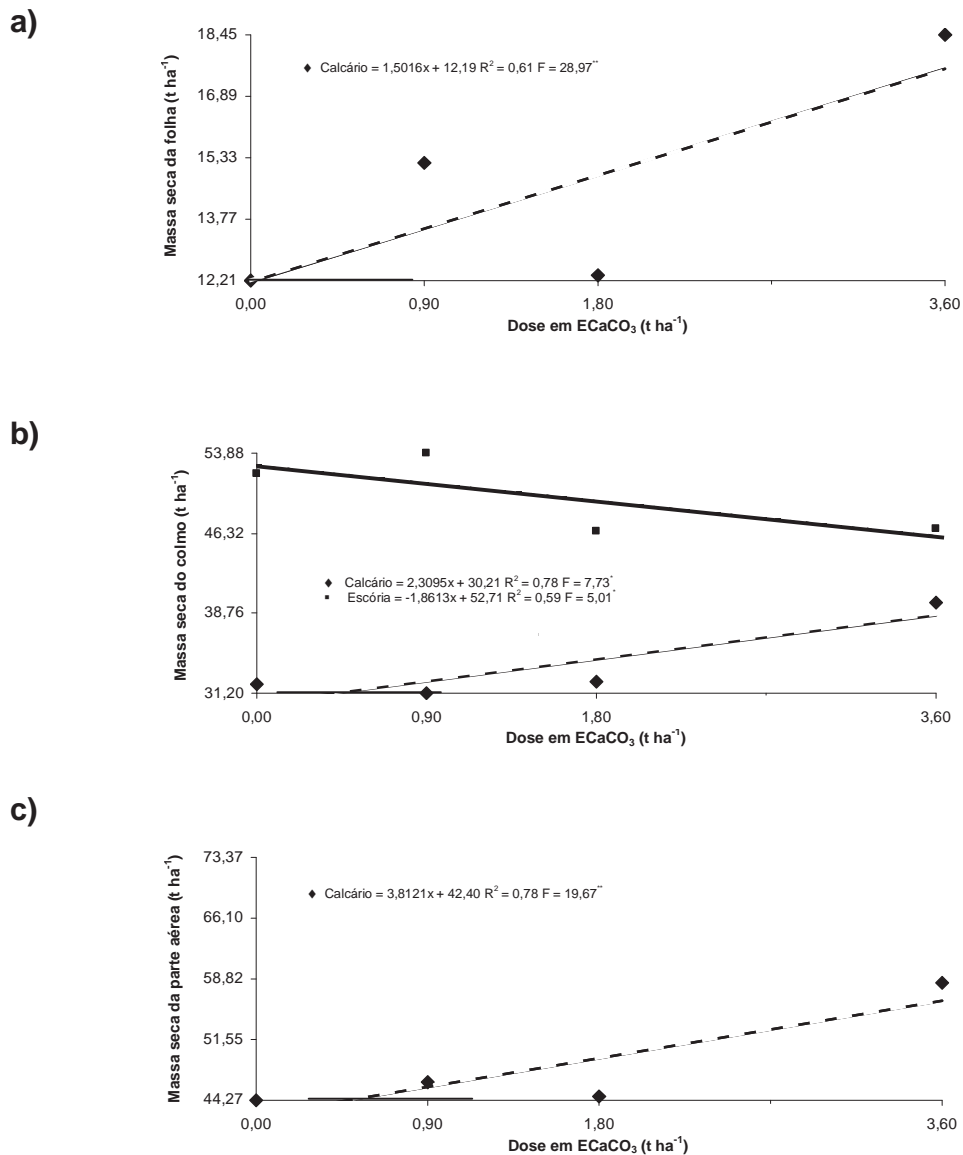
Observou-se também, um aumento, com ajuste linear, no acúmulo de massa seca no colmo e na parte aérea da primeira soqueira da cana-de-açúcar em função do

calcário aplicado, já para a escória o ajuste foi linear, porém com um leve decréscimo, este último, apenas para a massa seca no colmo, pois na parte aérea não houve um efeito significativo (Figuras 14b; c).

**Tabela 13** – Massa de matéria seca de folhas, de colmos e da parte aérea, em função da aplicação de fontes e doses de materiais corretivos no solo, na colheita da cana soca (2º ciclo).

Tratamentos	MS folha	MS colmo	MS parte aérea
	----- t ha <sup>-1</sup> -----		
<b>Fontes (F)</b>			
Calcário	14,56	33,85	48,41
Escória de Siderurgia	15,68	49,78	65,46**
Teste F	4,55**	103,69**	111,06**
<b>Doses (D)</b>			
t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>			
0	12,74	42,03	54,78
0,9	13,75	42,54	59,89
1,8	12,55	39,41	51,96
3,6	17,83	43,28	61,11
Teste F	29,67**	1,15 <sup>NS</sup>	7,07**
		<b>Teste F</b>	
(F) x (D)	4,88**	4,98**	7,95**
C.V. (%)	9,8	10,5	8,3

NS: Não significativo. \*\*: Significativo a 1 % de probabilidade.



**Figura 14** – Massa de matéria seca da folha (a), do colmo (b) e da parte aérea (c) da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo), em função de fontes e doses de materiais corretivos aplicados no solo. \*\* e \* - Significativo a 1% e 5% de probabilidade.

Observou-se diferença significativa na produção de colmos da cana soca (2<sup>o</sup> ciclo) em função dos fatores estudados, fontes ( $F = 87,80^{**}$ ), doses ( $F = 233,78^{**}$ ) e da interação de fontes e doses ( $F = 7,75^{**}$ ). Notou-se que a aplicação do calcário e da

escória de siderurgia promoveu incremento com ajuste linear na produção de colmos na primeira soqueira da cana-de-açúcar, porém, este último, com um efeito mais pronunciado em relação ao calcário (Figura 15). Tendo em vista o efeito positivo dos materiais corretivos na produtividade da cana-de-açúcar (Figura 15), era de se esperar diferenças no estado nutricional das plantas pela diagnose foliar (folha +1), para tanto, um fato que se pode levar em consideração é o efeito diluição, ou seja, a concentração dos nutrientes é diluída com o maior crescimento da planta, fato que é amplamente relatado na literatura (JARRELL e BEVERLY, 1981).

PRADO e FERNANDES (2001d) estudando a variedade SP 801842 em um Latossolo Vermelho, em condições de campo, na primeira soqueira observaram acréscimo linear quando se aplicou a escória de siderurgia, enquanto o calcário houve efeito quadrático na produtividade da cana-de-açúcar, o que neste trabalho, observa-se efeito parecido em função da aplicação da escória. Entretanto, em seis experimentos instalados em regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, observou-se resposta da cultura à aplicação de calcário em apenas dois experimentos, com incrementos na produtividade de cana de 8 e 13 t ha<sup>-1</sup>, o que enfatiza a adaptação das cultivares plantadas em solos ácidos e de baixa fertilidade (ROSSETO et al., 2004).

Contudo, salienta-se a produtividade da primeira soqueira da cana-de-açúcar obtida neste trabalho (120 t ha<sup>-1</sup>), apresentando-se bem acima da produtividade média do Estado de São Paulo para cana planta, que é de aproximadamente 88 t ha<sup>-1</sup> (AGRIANUAL, 2009).

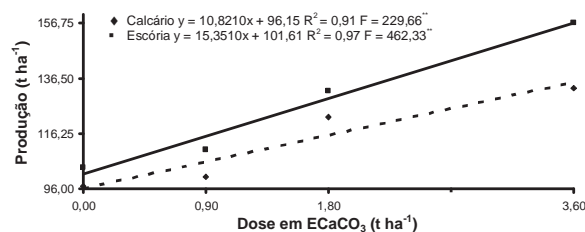
Notou-se com o uso das maiores doses de calcário e escória de siderurgia que promoveu a maior produção de colmos, isto, esteve associado com saturação por bases de 36 a 38%, respectivamente, aos 12 meses após a brotação.

O V% obtido neste trabalho com a aplicação das maiores doses de materiais corretivos apresentou valores menores que o indicado para a cultura no estado de São Paulo. PRADO e FERNANDES (2001d) trabalhando com o primeiro corte da cana-de-açúcar, obtiveram resultados que mostram estreita relação entre a produção de colmos e a média da saturação por bases do solo em função da aplicação da escória, que apresentou relação linear da produção de colmos com a saturação por bases do solo,

indicando a tolerância da cana-de-açúcar a doses maiores deste corretivo e de calcário, com um máximo rendimento de colmos obtido com 66 % da saturação por bases, valor próximo ao sugerido por SPIRONELLO et al. (1996) para essa cultura, no estado de São Paulo. PRADO et al. (2003) verificaram, em soqueiras de cana-de-açúcar um acréscimo na saturação por bases do solo, dependendo da aplicação do calcário e da escória, atingindo 38 e 47 %, respectivamente, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Um fato que pode explicar este incremento positivo na produção, com um V% abaixo do recomendado para a cultura é por se tratar da cultivar utilizada, que é tolerante a acidez do solo e também é classificada como pouco exigente em termos de fertilidade do solo, segundo ROSSETTO et al. (2008) e o poder residual dos materiais corretivos aplicados no solo fatalmente refletiram na planta. Outro fato que também pode ser levantado é que o teor foliar de Ca obtidos neste trabalho na testemunha ( $5 \text{ g kg}^{-1}$ ) encontrou-se dentro da faixa classificada como adequada para a cultura da cana-de-açúcar, sugerida por RAIJ e CANTARELLA, (1997) (de 2 a  $8 \text{ g kg}^{-1}$ ), assim, a cultura não apresentava deficiência desse nutriente. Uma vez que existem indicações que a cana-de-açúcar seja mais exigente em Ca comparado as melhorias na reação do solo.

Assim, tais evidências em conjunto com outros atributos químicos do solo como, a SB, o teor de Ca e Mg no solo que aumentaram em função da aplicação das doses dos materiais corretivos contribuíram para a melhoria do ambiente químico do solo refletido no incremento da produção de colmos.



**Figura 15** – Produção de colmos da cana soca (2º ciclo), em função de fontes e doses de materiais corretivos de acidez do solo aplicados no plantio. \*\* - Significativo a 1% de probabilidade.

A aplicação da escória de siderurgia e de calcário não provocou efeito significativo de fontes, de doses e de interação entre fontes e doses, nas variáveis tecnológicas do colmo da soqueira de cana-de-açúcar, com exceção do teor açúcares redutores (AR), que houve efeito significativo de fontes (Tabela 14).

**Tabela 14** – Resultados médios das variáveis, °Brix, % de Açúcares Redutores Totais (ART), teor de sacarose (Pol % cana), % de açúcares redutores (AR), % de pureza do caldo, quantidade de açúcar contida nos colmos (PC), % de fibra, Açúcar Teórico Recuperável (ATR) e peso do bolo úmido (PBU) da primeira soqueira de cana-de-açúcar em função da aplicação do material corretivo no solo, aos 12 meses após a brotação.

Tratamentos	°Brix	ART	POL	AR	PUREZA	PC	FIBRA	ATR	PBU
	----- % -----						---- kg ha <sup>-1</sup> ----		
<b>Fontes (F)</b>									
Calcário	21,00	21,24	19,05	1,18	90,69	16,41	10,97	160,53	126,24
Escória de Siderurgia	21,14	21,46	19,21	1,23	90,87	16,54	11,03	161,68	127,01
Teste F	0,25 <sup>NS</sup>	0,51 <sup>NS</sup>	0,32 <sup>NS</sup>	5,94*	0,59 <sup>NS</sup>	0,31 <sup>NS</sup>	0,18 <sup>NS</sup>	0,29 <sup>NS</sup>	0,17 <sup>NS</sup>
<b>Doses (D)</b>									
t ha <sup>-1</sup> ECaCO <sub>3</sub>									
0	21,24	21,49	19,28	1,18	90,76	16,62	10,98	162,44	126,36
0,9	20,84	21,18	18,95	1,22	90,93	16,35	10,91	159,85	125,46
1,8	21,06	21,36	19,12	1,23	90,76	16,48	10,96	161,13	126,06
3,6	21,13	21,37	19,17	1,19	90,68	16,46	11,16	160,99	128,62
Teste F	0,36 <sup>NS</sup>	0,16 <sup>NS</sup>	0,21 <sup>NS</sup>	1,48 <sup>NS</sup>	0,19 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>	0,54 <sup>NS</sup>	0,25 <sup>NS</sup>	0,54 <sup>NS</sup>
<b>Teste F</b>									
(F) x (D)	0,52 <sup>NS</sup>	0,43 <sup>NS</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	1,48 <sup>NS</sup>	0,48 <sup>NS</sup>	0,39 <sup>NS</sup>	0,22 <sup>NS</sup>	0,40 <sup>NS</sup>	0,23 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	3,7	4,1	4,3	4,7	0,7	3,9	3,8	3,7	4,1

NS: Não significativo. \*: Significativo a 5 % de probabilidade.

Pelos resultados obtidos, a qualidade tecnológica obtida no experimento apresentou as seguintes características: °Brix (20,84 a 21,24 °Brix), ART (21,18 a 21,49%), Pol (18,95 a 19,28%), AR (1,18 a 1,23%), Pureza (90,68 a 90,93%), PC (16,35 a 16,62%), Fibra (10,91 a 11,16%), ATR (açúcar teórico recuperável) (159,85 a 162,44 kg ha<sup>-1</sup>) e PBU (peso do bolo úmido) (125,46 a 128,62 kg ha<sup>-1</sup>) (Tabela 14).

## 6. CONCLUSÕES

A escória de siderurgia apresentou comportamento semelhante ao calcário na melhoria dos atributos químicos do solo, vinte e quatro meses após a brotação da cana planta (1º ciclo).

O uso da escória de siderurgia manteve as concentrações de metais pesados, potencialmente tóxicos (Cd, Cr, Ni e Pb), no solo abaixo dos níveis permitidos.

Não houve diferença entre o calcário e a escória de siderurgia nas variáveis de crescimento e no estado nutricional da cana-de-açúcar. As doses dos materiais corretivos decresceram os teores foliares de Mn e aumentaram o teor foliar de Si da soqueira de cana-de-açúcar.

A qualidade tecnológica da cana soca (2º ciclo) não foi influenciada pelas fontes e doses de materiais corretivos.

Os materiais corretivos utilizados nas maiores doses foram responsáveis pela maior produção na cana soca (2º ciclo), destacando-se a escória de siderurgia.



## 7. REFERÊNCIAS

- ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; BERTON, R.S. Análise química de solo para metais pesados. In: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. 1 ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2, p.645-692. 2002.
- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P.T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in Rice plants (*Oryza sativa* L.) Plant Production Science, v.1, p.89-95, 1998.
- AGRIANUAL 2009: Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2008.
- AGRIANUAL 2011. Anuário da Agricultura Brasileira. AgraFNP. São Paulo, 2010.
- ALCARDE, J.C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos, 26p., (Boletim Técnico, 6). 1992
- ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos. Anuário Estatístico do Setor de Fertilizantes. São Paulo, 2008.
- ANDERSON, D.L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglade Histosols. Agronomy Journal, v.83, p.870-874. 1991.
- ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. Anais, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 32p. (T025-3 CD-ROM), 1999.
- AVALHÃES, C.C. Escória de siderurgia na cultura da cana planta: Efeitos no solo, na nutrição e na produtividade. 2010. 98f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.
- BARBOSA, J.C.; MALDONADO JR., W. AgroEstat – Sistema de análises estatísticas de ensaios agrônômicos, Versão 1.0, Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, s/paginação, 2011.
- BARTLETT, R.J. Behavior of Cr in soils. I: Trivalent forms. Journal of Environmental Quality, v. 8. p. 31-35, 1976.

- BASTOS, J.C.H.A. da G. A escória de siderurgia como material corretivo e a interação com a adubação nitrogenada em cana-de-açúcar/Joani Cristina Húngaro Aires da Gama Bastos. 58f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.
- BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. Métodos de análise química de plantas. IAC - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 48p. 1983.
- BITTENCOURT, M.F.; NOKAGHI, R.M.; KORDORFER, G.H.; VOSS, L.R.; JARUSSI, J.R.; CAMARGO, M.S.; PEREIRA, H.S. Efeito do silicato de cálcio sobre a produção e qualidade da cana-de-açúcar - Usina Equipa, Cd ROM XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, p.66, 2003.
- BRADY, N.C. Natureza e Propriedades dos Solos, 7.ed. New York: John Wiley, 898p., 1989.
- BRASSIOLI, F.B.; PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Avaliação agrônômica da escória de siderurgia na cana-de-açúcar durante cinco ciclos de produção. Revista Bragantia, v.68, n.2, p.381-387, 2009.
- CARVALHO, L.C.C. Cenário sucroalcooleiro. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.17, p.12-13, 1999.
- CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BULL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C.; MAUAD, M. SILVA, R.H. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.38, n.11, p.1323-1328, 2003.
- CONSELHO DOS PRODUTORES DE CANA-DE-AÇÚCAR, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de Instruções. Piracicaba: Consecana. 112p. 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução 375: Uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados: critérios para projeto e operação. Brasília, 2006. 31p.
- CORREA, J.C.; BULL, L.T.; PAGANINI, W.S.; GUERRINI, I.A. Disponibilidade de metais pesados em Latossolo com aplicação superficial de escória, lama cal, lodos de esgoto e calcário. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.411-419, 2008.

- COSTA, M.C.G.; MAZZA, J.A.; VITTI, G.C.; JORGE, L.A.C. Distribuição radicular, estado nutricional e produção de colmos e de açúcar em soqueiras de dois cultivares de cana-de-açúcar em solos distintos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.31, p.1503-1514, 2007.
- DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: Elsevier, 403p., 2001.
- DAVIES, L.E. Heavy metal pollution of British agricultural soils with special reference to the role of lead and copper mining. In: *INTERNATIONAL SEMINAR ON SOIL ENVIRONMENT AND FERTILIZER*, Proceedings. 1977.
- DEREN, C.W.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Science*, v.34, p.733-737, 1994.
- ECHAVARRIA, M. To burn or not burn: environmental, technological and economic considerations. In: *CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY SUCAR CANE*, 22., Cartagena, 1995. Proceedings. Cartagena: ISSC, v.2, p.38-43, 1995.
- ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. *Agronomy Journal*, v.74, p.481-483, 1982a.
- ELAWAD, S. H.; STREET, J. J.; GASCHO, G. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. II. Leaf freckling and nutrient content. *Agronomy Journal*, v.74, p.484-487, 1982b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: CNPS, 306p. 2006.
- EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. v. 50, p.641-664, 1999.
- FARIA, R. Efeito da acumulação de silício e tolerância das plantas de arroz do sequeiro ao déficit hídrico do solo. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Solos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.
- FARONI, C.E. Eficiência agrônômica das adubações nitrogenadas de plantio e após o primeiro corte avaliada na primeira soca da cana-de-açúcar. 2008. 190f. Tese (Doutor

- em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
- FORTES, J.L.O. Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.
- GOMEZ-ALVAREZ, F. Correlacion entre algunos niveles de nutrientes El La loja de La cana de azucar. Revista de la Facultad de Agronomia, v.7, p.5-12, 1974.
- INFORMA ECONOMICS FNP. Disponível em: <http://www.informaecon-fnp.com/noticia/2492>, Acesso em: 29/06/2011.
- JARRELL, W.M.; BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy, v.34, p.197-224, 1981.
- KABATA, A. L.; PENDIAS, H. Trace elements in soil and plants. Boca Raton, CRC Press, 315p. 1984.
- KORNDÖRFER, G.H.; DATNOFF L.E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. Informações Agronômicas. v.70, p.1-5, 1995.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. Papel do silício na produção da cana-de-açúcar. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.21, p.6-9, 2002.
- KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. Uberlândia: (Boletim Técnico, 2), GPSi-ICIAG-UFU, 34p. 2004.
- KRASKA, J.E.; BREITENBECK, G.A. Simple, Robust Method for Quantifying Silicon in Plant Tissue. Communications in Soil Science and Plant Analysis, v. 41; n.17, p.2075-2085. 2010.
- LEITE, P.C. Interação silício-fósforo em Latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.
- LINDSAY, W.L. Chemical Equilibria in Soils. New York, Chichester, Brisbane, Toronto. John Wiley e Sons. Inc. 449 p. 1979.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Ceres, 1980. 215 p.

- MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; ALVES, W.L. Extratores para avaliação da disponibilidade de metais pesados em solos adubados com vermicomposto de lixo urbano. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.39, p.371-378, 2004.
- MARIN, F.R., Solo, Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_18\\_3112006152934.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_18_3112006152934.html)>, Acesso em: 12/12/2009.
- MARTINS, C.E. Práticas agrícolas relacionadas à calagem do solo. EMBRAPA Gado de Leite, Juiz de Fora-MG, 2005.
- MATICHENKOV, V.V.; CALVERT, D.V. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*, v.22, p.21-30, 2002.
- MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S.; CRUZ, M.C.P. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M. E. (Ed.). *Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura*. Jaboticabal: CNPq: FAPESP: Potafos, 599p. 2001.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v.15, p.1409-1416. 1984.
- MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana-de-açúcar na região de Araraquara – SP, STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos. v.17, n.4, p.45-47, 1999.
- MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana-de-açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média álico. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 16:187-194, 1992.
- OLIVEIRA, R.A. DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. Crescimento e desenvolvimento de três Cultivares de cana-de-açúcar, em cana planta, no Estado do Paraná. *Scientia Agraria*, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.
- ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L.C.F.; MANOEL, L.A. Fontes de calcário aplicadas em área total e sulco de plantio em cana-de-açúcar. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.9, p.11-16, 1990.

- PIAU, W.C. Efeitos das escórias de siderurgia em atributos químicos de solo e na cultura do milho (*Zea mays* L.). Piracicaba, 1995. 124p. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- PIAU, W.C. Viabilidade do uso de escórias como corretivos e fertilizantes. Dissertação (Mestrado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- PRADO, H.; ROSSETO, R.; LANDELL, M.G.A. Instituto Agrônomo de Campinas propõe classificação de solos adaptada para a cultura da cana-de-açúcar. STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.16, p.13, 1998.
- PRADO, R.M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória silicatada como corretivo de acidez do solo. 2000. 97f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000b.
- PRADO, R.M., FERNANDES, F.M., NATALE, W. Uso agrícola da escória no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP. 67p. 2001a.
- PRADO, R.M., NATALE, W. Calagem na nutrição de cálcio e no desenvolvimento do sistema radicular da goiabeira. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 39, n. 10, p.1007-1012, 2004.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. Revista de Agricultura, v. 74, n.2, p.235-242, 1999.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo Vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.19, p.26-29, 2001c.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos. Scientia Agricola, v. 57, n.4, p.739-744, 2000a.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, n.1, p.201-209, 2001d.

- PRADO, R.M.; FERNANDES, 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, n.4, p.539-546, 2002.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. *Scientia Agricola*, v.59, n.1, p.129-135, 2002b.
- 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*, v.27, p.287-296, 2003.
- PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; ROQUE, C.G. Amostragem do solo em área com cana-de-açúcar após aplicação de corretivos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.36, n.9, p.1185-1190, 2001b.
- 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, n.1, p.197-205, 2004.
- RAID, R.N; ANDERSON, D.L; ULLA, M.F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. *Crop Protection*, v.11, p.84-88, 1992.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 285p., 2001.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2a edição, Fundação IAC, Campinas, p.233-243, (Boletim Técnico, 100), 1997.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C., Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo, 2a edição, Fundação IAC, Campinas, 285p. (Boletim Técnico, 100), 1996.
- RAIJ, B.van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo: Ceres/Potafos, 343p. 1991.



- ROSS, L.; NABABSING, P.; Wong You Cheong, Y. Residual effect of calcium silicate applied to sugarcane soils. In: International Congress the Society Sugar Cane Technology 15, v.15, n.2, p.539-542, 1974.
- ROSSETTO, R.; KORNDÖRFER, G.H.; DIAS, F.L.F. Nutrição e adubação de cana-de-açúcar. In: MARQUES, M.O.; MUTTON, M.A.; NOGUEIRA, T.A.R.; TASSO JÚNIOR, L. C.; NOGUEIRA, G.A.; BERNARDI, J.H. (Org.). Tecnologia na Agroindústria Canavieira. FCAV/Unesp, v.1, p.125-139, 2008.
- ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para a cana-de-açúcar e sua interação com a adubação potássica. *Bragantia*, v.63, n.1, p.105-119, 2004.
- SALATA, J.C.; SANTOS, E.; DEMATTÊ, J.L.I. Ação do calcário e gesso em solos de baixa fertilidade e na recuperação de soqueiras de cana-de-açúcar. *STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v.14, p.19-22, 1995.
- SAVANT, N.K.; KORNDÖRFER G.H.; SNYDER, G.H.; DATNOFF, L.E. Silicon Nutrition and Sugarcane Production: A review. *Journal of Plant Nutrition*. v.12, n.22, p.1853-1903, 1999.
- Secretaria de Agricultura e Abastecimento, CATI-Coordenadoria de Assistência Técnica Integral/IEA-Instituto de Economia Agrícola, Projeto LUPA, 2008.
- SILVEIRA J, E.G.; PENATTI, C.; KORNDORFER, G.H.; CAMARGO, M.S. Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar-Usina Catanduva, Cd ROM XXIX Congresso brasileiro de Ciência do Solo. 2003.
- SOUZA, C. M. Uso Agrícola da Escória. UFV e PARCERIAS, Viçosa-MG, v.4, p.18-20, 2002.
- SPIRONELLO, A.; RAIJ, B. van; PENATTI, C.P.; CANTARELLA, H.; MORELLI, J.L.; ORLANDO FILHO, J.; LANDELL, M.G.A.; ROSSETO, R. Cana-de-açúcar. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, 2a edição, Fundação IAC, Campinas, p.237-239, (Boletim Técnico, 100), 1997.



- SUGUITANI, C. Fenologia da cana-de-açúcar (*Sacharum* spp.) sob efeito do fósforo. Piracicaba, Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 79p. 2001.
- TISDALE, S.L.; NELSON; W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers. Macmillan Publisching, 754p. 1985.
- USEPA. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Test method for evaluating solid waste. Report number SW-846. Washington. DC, 152p., 1986.
- YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in phisiology of the rice plant. Bulletin of the National Institute of Agriculture and Science, v.15, p.1-58, 1965.
- YOSHIDA, S.; NAVESAR, S.A.; RAMIREZ, E.A. Effects of silica and nitrogen supply one some leaf characters of rice plant. Plant and Soil, v.31, p.48-56, 1969.
- ZETTEMANN, L.F. Caracterização da escória de aço inoxidável com vistas a seu reaproveitamento no processo de produção de aço. Porto Alegre: UFRGS, 2001. 56f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

## 8. APÊNDICE

**Tabela 15** – Dados meteorológicos mensais da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção – FEPP da FCAV/UNESP no período da condução do experimento.

2009								
Mês	Pressão (hPa)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	ND	Insolação (h)
janeiro	942,0	29,7	19,8	23,8	80,4	238,0	18	180,2
fevereiro	941,9	31,2	20,6	24,7	80,9	190,6	16	204,3
março	941,7	31,0	20,2	24,4	80,4	217,9	16	191,3
abril	944,2	29,5	17,2	22,2	74,9	70,8	05	248,7
maio	945,2	28,4	15,5	20,7	75,9	26,6	04	259,1
junho	946,9	25,0	12,2	17,4	76,5	51,9	07	195,9
julho	946,3	27,6	14,4	19,8	74,6	25,5	05	222,8
agosto	946,1	28,0	14,6	20,3	66,3	133,1	06	223,9
setembro	944,5	29,7	17,8	22,9	74,0	132,4	11	201,3
outubro	942,0	30,8	18,1	23,6	72,8	101,9	9	223,8
novembro	940,8	32,1	21,0	25,5	74,8	163,3	15	202,4
dezembro	941,0	29,8	20,5	24,1	81,8	383,7	20	152,9
Ano	943,5	29,4	17,6	22,4	76,1	1735,7	132	2506,6
2010								
Mês	Pressão (hPa)	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	UR (%)	Precipitação (mm)	ND	Insolação (h)
janeiro	942,7	30,4	20,8	24,4	82,2	240,7	20	154,8
fevereiro	942,6	32,2	20,4	25,3	76,6	150,7	14	215,7
março	941,8	31,4	20,0	24,6	77,6	183,0	13	225,4
abril	944,7	29,2	17,1	22,2	74,6	95,5	07	245,7
maio	944,9	27,1	14,1	19,5	72,5	10,6	04	239,9
junho	948,0	27,4	12,0	18,5	68,3	7,8	02	256,1
julho	947,8	29,2	13,9	20,4	63,8	0,0	0	278,9
agosto	947,4	30,7	12,9	20,8	52,2	0,0	0	301,0
Setembro	944,6	31,3	17,1	23,2	59,5	141,9	8	216,3
outubro	842,2	30,6	16,9	23,0	67,5	69,4	12	205,2
novembro	940,2	31,0	18,7	24,1	70,3	100,1	13	238,4
dezembro	939,1	31,4	20,6	25,1	77,8	225,3	20	219,6
Ano	943,8	30,1	17,0	22,6	70,2	1225,0	113	2997,0

Pressão: pressão atmosférica; Tmax: temperatura máxima; Tmin: temperatura mínima; Tmed: temperatura média; UR: umidade relativa do ar; ND: número de dias com chuva. Fonte: Departamento de Ciências Exatas, Estação Agroclimática – FCAV/UNESP.