

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

**EFEITO RESIDUAL DA ESCÓRIA SILICATADA DE
SIDERURGIA COMO CORRETIVO DE ACIDEZ DO SOLO
EM CANA SOCA**

FABIANO BARBIERE BRASSIOLI
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO MAXIMINO FERNANDES

Co-Orientador: Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Engenharia da Universidade Estadual
Paulista, Campus de Ilha Solteira, para
obtenção do título de Mestre em
Agronomia, Área de Concentração:
Sistemas de Produção.**

ILHA SOLTEIRA
Estado de São Paulo – Brasil
Fevereiro – 2005

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

OFEREÇO

A DEUS , PELA VIDA.

DEDICO

Aos meus pais, José Ademir Brassioli e Márcia Barbieri Brassioli, por terem sido a base de tudo em minha vida. Aos meus irmãos, Fernando Barbieri Brassioli e Flávio Barbieri Brassioli, pela compreensão e união. À minha namorada Débora Bueno de Moraes, pelo companheirismo nas horas difíceis. Aos meus amigos, pela força. Pois, todos eles foram imprescindíveis para a realização desta tarefa.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, por iluminar meu caminho e estar sempre presente em minha vida me fortalecendo.

À UNESP - Campus de Ilha Solteira - Agronomia, pela oportunidade concedida para a realização do curso de Pós-Graduação.

Ao Professor Dr. Francisco Maximino Fernandes, pela amizade, compreensão e orientação para o curso e, principalmente, para a vida.

Aos Professores do curso, pelos ensinamentos e companheirismo.

Aos meus grandes amigos(as) de curso, pelo apoio, amizade e pelos momentos felizes de descontração durante o curso.

Aos meus amigos de república Luis Eduardo A. Sanches Suzuki, Adriano R. Cortez Bosco, Luis Gustavo A. Sanches Suzuki e Washington Massao Oi, pela amizade, apoio e companheirismo.

Aos meus vizinhos e amigos que guardo no coração, Djalma C. da Silva, Ligia C. da Silva, Elaine C. da Silva e Moisés C. da Silva e Ruan pelo apoio e amizade durante o curso.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	ix
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. Caracterização da escória silicatada	4
3.2. Efeito da escória silicatada como corretivo de acidez	8
3.3. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória silicatada	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	16
4.1. Instalação do experimento	16
4.1.1. Caracterização da escória de siderurgia e do calcário	17
4.1.2. Delineamento estatístico	19
4.1.3. Preparo do solo	22
4.1.4. Plantio	23

4.1.5. Tratos culturais no primeiro e segundo ciclo da cultura -----	24
4.1.6. Tratos culturais no terceiro, quarto e quinto ciclo da cultura----	25
4.2. Avaliações -----	26
4.2.2. Avaliações do desenvolvimento da cana-soca (3^o, 4^o e 5^o ciclos) -	26
4.2.2.1. Perfilhamento -----	26
4.2.2.2. Altura da planta -----	26
4.2.2.3. Massa unitária de colmo -----	27
4.2.2.4. Número de colmos -----	27
4.2.2.5. Produção de colmos -----	27
4.3. Análise estatística -----	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	30
5.1. Propriedades químicas do solo-----	30
5.1.1. Correção da acidez -----	30
5.1.2. Disponibilidade de Ca e Mg-----	39
5.2. Efeito na planta -----	53
5.2.1. Perfilhamento, altura de planta e massa unitária de colmos---	53
5.2.2. Número de colmos e produção de colmos -----	60
6. CONCLUSÕES -----	73
7. REFERÊNCIAS -----	74

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Análise química do solo da área do experimento, antes da aplicação dos tratamentos e plantio da cana, Fazenda Nossa Senhora Aparecida, município de Ituverava-SP. 17**
- Tabela 2. Caracterização química, reatividade e poder de neutralização da escória silicatada..... 18**
- Tabela 3. Caracterização química, poder de neutralização e da reatividade do calcário calcítico..... 19**
- Tabela 4. Quantidade de calcário e escória silicatada utilizados no experimento, em função dos níveis de saturação por bases desejados..... 21**
- Tabela 5. Fontes e quantidades de micronutrientes aplicados nos tratamentos com o calcário em função dos níveis de saturação por bases desejados..... 22**
- Tabela 6. Esquema da análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos (Blocos Casualizados)..... 28**

Tabela 7. Esquema da análise de variância considerando-se as regressões linear e quadrática aplicada no experimento.	29
Tabela 8. Valores médios de pH – CaCl₂ do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostrada após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	31
Tabela 9. Valores médios da saturação por bases (V%) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	33
Tabela 10. Valores médios da acidez potencial (mmol_c dm⁻³) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	36
Tabela 11. Valores médios de cálcio trocável (mmol_c dm⁻³) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	40
Tabela 12. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de cálcio trocável (mmol_c dm⁻³), na camada de 40-60 cm do solo, amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	41
Tabela 13. Valores médios de magnésio trocável (mmol_c dm⁻³) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.....	43
Tabela 14. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de magnésio trocável (mmol_c dm⁻³), na camada de 20-40 cm do solo, amostrada após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.	44
Tabela 15. Valores médios do número de perfilhos por metro e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.....	54
Tabela 16. Valores médios da altura de planta (m) e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.	56

Tabela 17. Valores médios de massa unitária de colmos (kg) da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar..... 58

Tabela 18. Valores médios de número de colmos por metro da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar..... 60

Tabela 19. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de número de colmos para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar..... 62

Tabela 20. Valores médios da produção de colmos ($t\ ha^{-1}$) da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar..... 64

Tabela 21. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de produção de colmos ($t\ ha^{-1}$) para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar. .. 66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no pH – CaCl₂ do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar. 32

Figura 2. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, na saturação por bases (V%) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar. 34

Figura 3. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, na acidez potencial (mmol_c dm⁻³) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar. 37

Figura 4. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no teor de cálcio trocável (mmol_c dm⁻³) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar. 42

Figura 5. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no teor de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 45

Figura 6. Efeito do pH – CaCl_2 do solo na produção de colmos (t ha^{-1}), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 47

Figura 7. Efeito do saturação por bases (V%) do solo na produção de colmos (t ha^{-1}) da cana-de-açúcar, utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 48

Figura 8. Efeito da acidez potencial ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo na produção de colmos (t ha^{-1}), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 49

Figura 9. Efeito do teor de cálcio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo na produção de colmos (t ha^{-1}), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 50

Figura 10. Efeito do teor de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo na produção de colmos (t ha^{-1}), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar..... 51

Figura 11. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no perfilhamento da cana-de-açúcar, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo..... 55

Figura 12. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), na altura de planta (m) da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. 57

Figura 13. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no massa unitária de colmos (kg) da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar..... 59

Figura 14. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no número de colmos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar..... 61

Figura 15. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), na produção de colmos da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. 67

Figura 16. Efeito do número de perfilhos na produção de colmos ($t\ ha^{-1}$), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. 69

Figura 17. Efeito da altura de planta (m) na produção de colmos ($t\ ha^{-1}$), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. 70

Figura 18. Efeito do massa unitária de colmos (kg) na produção de colmos ($t\ ha^{-1}$), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar..... 71

Figura 19. Efeito do número de colmos na produção de colmos ($t\ ha^{-1}$), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar. 72

RESUMO

BRASSIOLI, Fabiano Barbieri. **Efeito residual da escória silicatada de siderurgia como corretivo de acidez do solo em cana soca.** Ilha Solteira, 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

A escória silicatada pode ser utilizada para diversos fins, na agricultura, utiliza-se as escórias básicas como corretivos de solo, e também como fonte de micronutrientes e silício. Além de elevar o pH, este resíduo apresenta um efeito residual superior ao do calcário, por ter reação mais lenta nos solos. Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a resposta da cultura da cana-de-açúcar ao efeito residual da aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo, comparando-a com o calcário, no terceiro, quarto e quinto ciclo da cana-soca. O trabalho foi realizado no município de Ituverava (SP). Utilizou-se o delineamento experimental em

blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4, com quatro repetições. Os fatores constituíram-se de dois corretivos (escória de siderurgia e calcário calcítico) e quatro doses (V(%)=original de cada solo; V(%)=50; V(%)=75 e V(%)=100). Aos 345 dias após a emergência dos brotos, os solos foram avaliados quanto ao pH, V(%) e H+Al e, as plantas quanto ao perfilhamento, número de colmos e produção de colmos. Apesar da escória ter apresentado reação mais lenta que o calcário, os corretivos foram semelhantes na correção da acidez. Na maior dose de calcário, houve um efeito depressivo no desenvolvimento da cana-de-açúcar, fato não observado na maior dose de escória silicatada.

Termos de indexação: *Saccharum* spp., silicato de cálcio; reação do solo; resíduo.

SUMMARY

BRASSIOLI, Fabiano Barbieri. **Residual Effect of metallurgy silicated slag as corrective of acidity of the soil on sugar cane ratoon.** Ilha Solteira, 2005. 90p. Dissertation (Master's degree Production Systems) – Faculty of Engineering of Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

The silicated slag can be used for several aims, in the agriculture, it is used the basic slag as soil correctives, and also as source of nutritious. Besides elevating the pH, this residue presents a larger residual effect than the limestone, for having slower reaction in soil cultivated with sugarcane. Therefore this work had as objective to evaluate the response of the sugarcane culture to the residual effect using the metallurgy slag as corrective of soil acidity, comparing with the limestone, in the third, fourth and fifth cut of the sugar cane ratoon. The work was carried out in the city of Ituverava (SP). The experimental design was blocks randomized, in factorial scheme 2x4, with

four repetitions. The factors were constituted of two correctives (metallurgy slag and calcium limestone) and four correction levels (without correction; V (%) =50; V (%) =75 and V (%) =100). To the 345 days after the emergency of the shoots, the soils were evaluated as for the pH, V (%) and H+Al and, the plants as for Sprouts, Number of Industrially usable culms and Production of culms. In spite of the slag to have presented slower reaction than the limestone, the correctives were similar in the correction of the acidity. In the largest level of limestone, there was a depressive effect in the development of the sugarcane, fact did not observe in the higher level of silicated slag.

Indexation terms: *Saccharum* spp., calcium silicate; soil reaction; residue.

1. INTRODUÇÃO

O volume de resíduos e efluentes gerados em siderurgia é elevado, sendo que para cada quatro toneladas de ferro gusa produzidas, três toneladas de escória granulada de alto forno é gerada. Essa escória pode ser utilizada para diversos fins, em alguns setores da economia, como nas indústrias de cimento, no setor de transportes, na construção civil, nas indústrias de cerâmicas, além da agricultura, que pode utilizar as escórias básicas como corretivos de solo, e também como fonte de alguns nutrientes e silício.

Esses setores citados acima, com exceção da agricultura, possuem baixo potencial de consumo. Dessa forma, o destino mais promissor para consumir grande parte de escórias siderúrgicas seria seu uso agrônômico, seja como corretivo da acidez do solo ou como fonte de alguns elementos químicos como o cálcio, magnésio e silício.

No Brasil, o material mais utilizado como corretivo de acidez do solo é o calcário. Todavia, a utilização de resíduos siderúrgicos para a mesma

finalidade tem-se mostrado como uma alternativa viável, destacando-se a escória silicatada (Amaral et al., 1994), que apresenta como componentes neutralizantes os silicatos de cálcio e magnésio, comportando-se semelhantemente aos calcários, podendo assim, justificar a comparação entre os dois corretivos na correção da acidez do solo a fim de se detectar uma possível superioridade da escória silicatada sobre o calcário no que diz respeito ao efeito residual desses corretivos no solo.

A agroindústria sucroalcooleira constitui um dos setores do agronegócio mais importantes para a economia brasileira. O setor movimentava anualmente R\$ 20 bilhões, cerca de 1,6% do PIB (Unica, 2005). Considerando somente o Estado de São Paulo, a cadeia de produção de açúcar e álcool responde por 40% do emprego rural e 58,9% da produção do país (Udop, 2005). Um dos aspectos conhecidos e responsáveis pela melhor produção de cana-de-açúcar é a adequada nutrição das plantas, tendo em vista a baixa fertilidade natural dos solos brasileiros. A cultura canavieira está instalada em uma área de 5,2 milhões de hectares (Udop, 2005), consumindo-se 17,5 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo uma das culturas na qual mais se aplica adubo por unidade de área (Anda, 2005). Alguns autores relatam que esta cultura responde, com aumento de produtividade (Prado et al., 2001) e da longevidade do canavial (Anderson et al., 1991), a aplicação da escória silicatada como corretivo de acidez do solo. No entanto, ainda existem poucos trabalhos que tratam o efeito residual da escória silicatada na cultura da cana-de-açúcar, em médio prazo.

2. OBJETIVO

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do solo e a resposta da cultura da cana-de-açúcar ao efeito residual da aplicação da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo, comparando-a com o calcário calcítico, no terceiro, quarto e quinto ciclo da cana.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Caracterização da escória silicatada

A escória silicatada é um resíduo das indústrias siderúrgicas, definida como sendo resultado da reação entre a sílica do minério de ferro com cálcio do calcário em alto forno dando o silicato de cálcio com impurezas (FIRME, 1986 e MALAVOLTA, 1981).

No Brasil, o marco histórico da atividade siderúrgica deu-se no ano de 1812 em Minas Gerais, porém seu desenvolvimento culminou, sem dúvida, no ano de 1946, com a corrida do ferro gusa no então único alto-forno da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) instalada em Volta Redonda - RJ. A atividade de siderurgia, tem como primeira etapa a obtenção de ferro bruto e impuro (ferro gusa) por meio da redução dos minérios de ferro e, como

resíduo, a escória de siderurgia de alto forno compreendendo cerca de 65% do volume total das escórias do Brasil (CAMPUS FILHO, 1981).

Portanto, a matéria-prima na produção na indústria siderúrgica é o minério de ferro, coque mineral ou carvão vegetal e calcário. O minério de ferro, calcário e o carvão vegetal introduzidos no alto forno reagem à temperatura de 1.900°C e por diferença de densidade ocorre separação do ferro que é considerado mais denso em relação à escória, sendo esta retirada por um canal onde é feito o escoamento, e imediatamente resfriada com jatos d'água "quenching", pois caso não receba água em um pequeno espaço de tempo (30 segundos), a escória solidifica e causa problemas significativos no armazenamento e utilização. Ressalta-se ainda que, para cada tonelada de ferro gusa produzida obtém-se 0,75 t de escória de alto forno e segundo Cantini e Souza (1989) para cada tonelada de aço líquido produzido obtém-se 0,64 t da escória de aciaria básica ou ácida.

Segundo Firme (1986), a escória pode ser utilizada como um agente fundente e juntamente com o fosfato natural, produzir adubos fosfatados similares ao termofosfato. Na escória são encontrados Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Cu, Co, Mo, Zn e B, cujos teores, dependem da fusão e da basicidade da escória (PIAU, 1991).

Desse modo, a aplicação da escória, além de corrigir a acidez do solo, fornece micronutrientes (Amaral et al., 1994), e isso é uma vantagem em relação ao calcário, visto que a escória apresenta, em sua composição, quantidades suficientes para ser considerada fonte de micronutrientes. Esse aspecto ficou comprovado no trabalho de Valadares et al. (1974), que

analisaram duas escórias, observando teores superiores de micronutrientes em comparação com 16 calcários de diferentes naturezas. Sendo que a aplicação de escória de siderurgia promoveu efeito quadrático na concentração de Fe, Mn, Cu e Zn, e linear no B disponível do solo (PRADO et al., 2004).

Em função desse grande volume das escórias produzidas pelas siderúrgicas, o destino mais promissor para consumir grande parte destas seria seu uso agrônômico seja como corretivo de acidez do solo ou fonte de alguns elementos químicos (nutrientes ou elementos benéficos). Quando se trata do uso agrícola de resíduos industriais, de maneira geral surgem os questionamentos da presença de metais pesados potencialmente fitotóxicos. Sabe-se que a concentração desses metais pesados na escória de siderurgia pode variar em função do seu tipo e do processo siderúrgico adotado. Dos metais pesados existentes, os mais perigosos pela toxicidade e potencial de bioacumulação estão restritos basicamente ao Cd, Cu, Zn e Pb (MAEDA et al., 1990).

Existem autores que não observaram restrições ao uso agrícola da escória conforme Piau (1991) que incubou por 90 dias três tipos de escória de siderurgia (alto forno, aciaria e a pré-cal) em diversas granulometrias e não houve acréscimo de metais pesados no solo. Constatou-se, através de um ensaio com plantas de milho, que a presença do Al, Ti, Pb, Cr, Ni, V, Sr, Ba e Cd, na escória não causaram toxidez às plantas (Piau, 1995). Nesta mesma linha Ribeiro et al. (1986) aplicaram ao solo até $14,9 \text{ t ha}^{-1}$ de escória siderúrgica (alto forno) e as plantas de sorgo não apresentaram quaisquer sintomas de fitotoxicidade.

Alguns fatores explicam o menor potencial de contaminação do ambiente por metais pesados presentes na escória, sendo que um deles está relacionado a solubilidade dos metais pesados, presentes na escória de siderurgia, que reduz com o decorrer do tempo da aplicação (Amaral Sobrinho et al., 1997). Isto pode ser explicado pelo fenômeno da adsorção dos metais pesados disponíveis, pois a escória de siderurgia apresenta constituintes neutralizantes e que o aumento do pH resulta em maior adsorção. Segundo Jenne (1998) o efeito do pH na adsorção de metais pesados no solo, ocorre devido à conversão de sítios diprotonados carregados positivamente, para sítios monoprotônicos, que por sua vez, converte para sítios carregados negativamente. Isto aumenta o número de sítios disponíveis para adsorção, ao mesmo tempo em que reduz a competição de H^+ com o adsorvato. Este fato foi mostrado por Azizian e Nelson (1998) a qual a adsorção do Pb, por exemplo, aumentou significativamente com elevação do pH, sendo praticamente indetectável abaixo de pH 4,0, atingindo cerca de 100% a pH 6,0.

Acrescenta-se, ainda, que as espécies vegetais e mesmo as cultivares diferem quanto à capacidade de absorção e de acúmulo de metais pesados (Nickiow et al., 1983). Silva et al. (1998) avaliaram a capacidade da cana-de-açúcar de absorver metais pesados provindos de resíduo de lodo de esgoto e observaram a falta de correlação entre os teores de metais pesados no solo acumulado pela aplicação do lodo e os teores nas folhas +3, nas amostras colhidas 114 dias após a aplicação deste resíduo. Portanto, em função do pH básico da escória e pela aparente baixa habilidade da cana-de-açúcar em

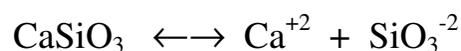
absorver metais pesados, coloca o uso agrônômico deste resíduo com reduzido potencial de malefício.

No entanto alguns autores alertam da presença de metais pesados na escória de siderurgia e o potencial de contaminação do ambiente (DEFELIPO et al., 1992).

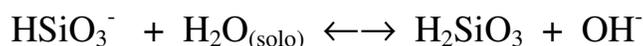
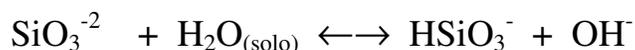
3.2. Efeito da escória silicatada como corretivo de acidez

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

Dissolução



Hidrólise



Isto é, a hidrólise da água promove uma liberação de hidroxilas, conforme mostram as equações acima, promovendo a elevação do pH. Aumenta também o fenômeno da adsorção do Si (H_4SiO_4) com a elevação do pH, uma vez que este fica carregado negativamente devido à ionização do ácido, tornando-se mais suscetível às forças de adsorção do solo.

Pereira (1978) estudou o efeito corretivo de uma escória da USIMINAS-MG, em comparação com sete calcários de diferentes origens. Concluiu não haver diferenças significativas entre os corretivos quanto à correção do pH de amostras de dois Latossolos (LVd e LVhd). Contudo, Veloso et al. (1992) citados por Prado (2000) verificando o efeito de diferentes materiais (calcário calcinado e dolomítico, escória e gesso) no pH do solo, concluíram que o calcário calcinado foi o que gerou o maior aumento do valor pH, seguido do calcário dolomítico e da escória.

Vários autores utilizaram o silicato de cálcio (escória) como corretivo e obtiveram resultados positivos (Wutke e Gargantini, 1962; Suehisa et al., 1963; Gomes et al., 1965; Ayres, 1966; Valadares et al., 1974; Ribeiro et al., 1986; Fázio e Gutierrez, 1989; Piau, 1991, Carvalho, 2000 e Prado, 2000). De acordo com os autores citados, o emprego com sucesso da escória como corretivo basicamente, está relacionado com o acréscimo do valor pH, da concentração de Ca, Mg e a própria neutralização do Al. Além disso, fósforo e silício competem entre si pelos mesmos sítios de adsorção nos colóides, de maneira que o segundo pode deslocar (dessorver) o primeiro, e vice-versa, da fase sólida para a fase líquida (OBIHARA e RUSSEL, 1972; LEITE, 1997).

Prado e Fernandes (1999) estudaram o efeito da escória de siderurgia, comparada ao calcário, no aumento de fósforo disponível em duas classes de solos ácidos, sob vegetação natural de Cerrado (Areia Quartzosa e Latossolo Vermelho-Escuro) cultivado com cana-de-açúcar. Concluíram, para a Areia Quartzosa, que a escória foi superior em relação ao calcário, na ordem de 27%, no aumento de fósforo disponível (resina) do solo. Para o Latossolo Vermelho-Escuro a escória de siderurgia foi semelhante ao calcário no

incremento do fósforo disponível, apenas com a metade da dose equivalente a CaCO_3 .

Por outro lado, Fortes (1993) estudou duas escórias de siderurgia de alto-forno de fabricação do ferro-gusa e calcário, em dois Latossolos Vermelho-Amarelo de diferentes texturas, e observou que apesar da escória ter corrigido a acidez do solo, a reação foi mais lenta que a do calcário, indicando que a aplicação da escória, baseado na determinação do Poder de Neutralização (PN), não foi eficaz. Resultados semelhantes foram obtidos por Prado e Fernandes (2000b) que observaram a mesma eficiência da correção da acidez do solo em condições de vaso.

A escória silicatada apresenta além da ação corretiva, uma vantagem adicional em relação ao calcário, segundo Sherman et al. (1964) e Tamini e Matsuyama (1972), isto é, evita o perigo de excesso de calagem, que normalmente pode provocar danos ou redução na produção da cultura da cana-de-açúcar, e quando se usa escória de siderurgia tal efeito é reduzido.

Esta reação mais lenta da escória de siderurgia, imediatamente após sua incorporação ao solo, pode ser influenciada por diversos fatores, tais como, a presença de impurezas como alumínio, que reduzem sua solubilidade (Ando et al., 1988). Isto pode ser explicado pela constituição química da escória, que apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligados a aluminossilicatos (Crane, 1930) ou pela formação de uma película de oxi-hidróxido de Fe e Al em torno das partículas de corretivo. Isto ocorre, provavelmente, no momento da hidrólise, em função da alcalinidade em torno desta partícula (Gomes et al., 1996). Este fato fica mais evidente nos materiais de escória de siderurgia em função da presença do Fe e Al em maior quantidade, quando comparado aos calcários.

Além disso, Kato e Owa (1996) observaram em um estudo de equilíbrio químico que a escória de siderurgia pode sofrer um decréscimo acentuado na sua dissolução, em solução aquosa, a medida do aumento do pH e da concentração de Ca na solução. No entanto, provavelmente este efeito na solubilização da escória de siderurgia seja mais pronunciado nas fases iniciais da sua incorporação ao solo, e que posteriormente estes efeitos sejam minimizados pelos fenômenos de lixiviação de bases, absorção destas bases pela planta e pelos processos de reacidificação do solo, que irão promover com tempo influência nas reações de equilíbrio químico e retornar a solubilização da escória de siderurgia.

Prado e Fernandes (2000b) compararam a escória de siderurgia de alto forno e um calcário calcítico quanto à eficiência da correção da acidez do solo, em condições de vaso, e observaram que a escória apresentou reação mais lenta no solo. Os autores concluíram que a estimativa da necessidade do produto para a correção da acidez do solo baseada no poder de neutralização, adotada para o calcário, não apresentou comportamento satisfatório para estimar a necessidade de escória de siderurgia.

3.3. Resposta da cana-de-açúcar à aplicação da escória silicatada

A maioria das áreas cultivadas com a cultura da cana-de-açúcar no Brasil encontra-se em solos com diferentes gradientes de acidez. Nesse contexto, a acidez do solo é reconhecidamente um dos principais fatores da baixa produtividade das culturas (Raij, 1991). Poucos investimentos na agricultura dão retornos econômicos tão elevados como o uso do calcário, conforme

resultados de experimentos conduzidos no estado de São Paulo, que evidenciaram alta relação retorno/investimento, a exemplo de culturas anuais (RAIJ e QUAGGIO, 1984).

Em solos ácidos com elevada saturação por alumínio, a calagem promove a neutralização do Al tóxico nas camadas superficiais, possibilitando a proliferação intensa das raízes, com reflexos positivos no crescimento das plantas. Contudo, é importante lembrar que é preciso incorporar muito bem o calcário na formação de culturas perenes ou semi-perenes, já que aplicações superficiais atuam lentamente nas camadas mais profundas, e um solo mal corrigido no início, comprometerá a produtividade por muito tempo (RAIJ et al., 1996).

Ribeiro et al. (1984) e Prado et al. (1998) observaram que a melhoria da reação do solo na subsuperfície tem influência direta na produção de colmos da cana-de-açúcar.

Normalmente na maioria dos experimentos com a cultura da cana-de-açúcar a aplicação de calcário proporciona efeitos benéficos (Silva e Casagrande, 1983; Orlando Filho et al., 1987). No entanto, existem alguns autores que afirmam que a resposta da cana-de-açúcar a calagem está em função do fornecimento de nutrientes como Ca e Mg e não na correção da acidez do solo propriamente dita (BENEDINI, 1988; ORLANDO FILHO e RODELLA, 1997).

Para Quaggio (1986) a resposta da cultura à calagem depende de fatores ligados à planta, ao solo e ao corretivo empregado, de tal modo que,

quando esses fatores são corretamente considerados, obtém-se a máxima eficiência com essa prática agrícola. Talvez por não levar em consideração esses fatores, é que as respostas da cultura da cana-de-açúcar à calagem são contraditórias (CORDEIRO, 1978).

Embora a cana-de-açúcar seja uma cultura tolerante à acidez, a aplicação de calcário tem-se revelado economicamente viável, principalmente se forem consideradas as colheitas de vários anos. Assim, a calagem preconizada, para o Estado de São Paulo, é para atingir a saturação por bases de 60%, garantindo a correção adequada da acidez e o fornecimento de cálcio e magnésio por vários anos de soqueiras, além de evitar doses excessivas em solos de CTC alta (RAIJ et al., 1996).

Cabe salientar, a importância da dose adequada de corretivo a ser aplicada no solo, especialmente nos Latossolos e os efeitos na estrutura do solo. Neste sentido Morelli e Ferreira (1987) alertam que doses excessivas de carbonato de cálcio, sem critérios, influenciam as propriedades eletroquímicas e físicas do solo, especialmente em solos com baixo teor de matéria orgânica, oxídicos ou caulíníticos que apresentam cargas dependentes de pH. Nestes solos há presença marcante do elemento alumínio e com a calagem, aumenta-se o valor de pH, neutralizando o alumínio e conseqüentemente aumenta-se as cargas negativas das partículas dos argilo-minerais e a repulsão entre elas. Estes efeitos associados causam prejuízos na estrutura dos solos tropicais em razão da redução da floculação, da agregação e no índice de percolação da água.

Com relação à escória silicatada praticamente não existem trabalhos experimentais no Brasil que estudaram a resposta da cana-de-açúcar à aplicação deste resíduo siderúrgico, especialmente na fase de soqueiras da

cultura, em campo. Um dos trabalhos pioneiros com aplicação de escória de siderurgia em cana-de-açúcar em condições de campo foi conduzido por Prado (2000), entretanto avaliou a fase de desenvolvimento inicial (primeiro e segundo ciclo). Os resultados experimentais a respeito do assunto provêm da literatura estrangeira, basicamente dos Estados Unidos.

Os trabalhos conduzidos no Brasil, que avaliaram sua eficiência da escória silicatada como corretivo de acidez, utilizaram especialmente culturas anuais como sorgo (Ribeiro et al., 1986), soja (Louzada, 1987), arroz (Carvalho, 2000), milho (Piau, 1995) e algumas hortaliças como alface (Amaral et al., 1994 e Prado et al., 2002) e tomate (PEREIRA, 1999).

Elawad et al. (1982a) relataram que a aplicação da escória silicatada de siderurgia incrementou o diâmetro, o número e a produção de colmos na cana-planta e cana-soca. Observaram ainda um aumento no teor de clorofila na folha e um decréscimo na incidência de lesões foliares denominadas de sardas “leaf freckling” (ELAWAD et al., 1982b).

Anderson et al. (1987) mostraram que a aplicação da escória de siderurgia (2,5; 5,0; 10 e 20 t ha⁻¹) em solos orgânicos de Everglades na Flórida-EUA, no sistema de rotação arroz e cana-de-açúcar, tem levado a incrementos na ordem de 10 a 23% e de 10 a 25% na produção da cana-de-açúcar e de açúcar respectivamente. Mais tarde, Anderson et al. (1991) observaram um efeito residual favorável da escória de siderurgia na cana-de-açúcar atingindo em média para os três primeiros ciclos um incremento de 39% na produção de cana-de-açúcar e 50% de açúcar.

Anderson (1991) observou que em solos com baixos teores de Mg, a resposta da cana à aplicação da escória silicatada pode ficar comprometida haja visto o baixo teor de Mg na escória e ao efeito antagônico entre o Si e o

Mg, cuja sua concentração no solo está altamente correlacionada com o peso de colmos da cana-de-açúcar (SANCHEZ E CLEMENTS, 1974).

Lima Filho et al. (1999) citaram que as escórias de siderurgia podem ser utilizadas como corretivos e fonte de Si, aumentando a produtividade da cana-de-açúcar e a síntese de açúcar.

A aplicação de silicatos finamente moídos (escórias de siderurgia) aos solos cultivados com gramíneas como a cana-de-açúcar é prática comercial no Havá-EUA e o incremento da produtividade das culturas estão normalmente associado ao aumento da disponibilidade de silício para as plantas (KORNDÖRFER e DATNOFF, 1995).

Segundo Prado e Fernandes (2000a), o calcário e a escória silicatada foram semelhantes, para produção de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, variedade RB 72-454 (média de dois ciclos), cultivada em vaso, em uma Areia Quartzosa. Entretanto, nas análises de regressão, observou-se que a escória incrementou linearmente o perfilhamento da cana-de-açúcar em relação ao calcário, o qual não foi significativo.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho refere-se a avaliação do efeito residual da aplicação da escória silicata no terceiro, quarto e quinto ciclo da cultura da cana-de-açúcar, dando continuidade ao trabalho do Dr. Renato de Mello Prado, que utilizou os dados do primeiro e segundo ciclo para a sua Dissertação de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

4.1. Instalação do experimento

O experimento foi realizado na Fazenda Nossa Senhora Aparecida, município de Ituverava (SP), cujas coordenadas geográficas aproximadas são 20° 20' latitude Sul e 47° 47' de longitude Oeste, com altitude aproximada de

631 m, o clima é mesotérmico com verões quentes e úmidos (Cwa), pelo sistema Köppen.

O experimento foi instalado em um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO Distrófico (Embrapa, 1999). Os resultados da análise química do solo anterior à aplicação dos tratamentos, encontram-se na Tabela 1, a qual seguiu a metodologia de Raij e Quaggio (1983).

Tabela 1. Análise química do solo da área do experimento, antes da aplicação dos tratamentos e plantio da cana, Fazenda Nossa Senhora Aparecida, município de Ituverava-SP.

Camada	PH CaCl ₂	MO	P Resina	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V
Cm	-	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----	mmolc	dm ⁻³	-----		%
0-25	4,6	24	5	0,4	8	5	38	51,4	26

4.1.1. Caracterização da escória de siderurgia e do calcário

A escória silicatada de siderurgia utilizada é uma escória de alto forno e foi proveniente da siderúrgica Dedini do Município de Piracicaba-SP. A caracterização química, reatividade e poder de neutralização estão apresentados na Tabela 2.

Os micronutrientes foram analisados em extrato de DTPA exceto o boro que foi por água quente, realizados no laboratório da Ribersolo, em Ribeirão Preto-SP. As demais determinações foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo da UNESP Campus de Ilha Solteira. O silício total e os elementos tóxicos foram analisados no laboratório do CENA/USP em extrato de HCl 6M, conforme Valadares et al. (1974) e determinado por espectrometria de absorção atômica.

Tabela 2. Caracterização química, reatividade e poder de neutralização da escória silicatada.

Elementos químicos										
----- Micronutrientes -----					Benéfico	----- Tóxicos -----				
Cu	Zn	B	Mn	Fe	Si	Al	Pb	Cr	Cd	Sr
----- g kg ⁻¹ -----						----- mg kg ⁻¹ -----				
0,4	0,9	0,3	24,7	261,8	120	23	211	348	14	2244
Análise química			Reatividade			Poder de neutralização				
CaO		MgO	RE			PN		PRNT		
----- g.kg ⁻¹ -----			----- % -----							
252		25	79,4			51,4		41,0		

A análise química e a reatividade do calcário foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo, da UNESP Campus de Ilha Solteira (Tabela 3).

O calcário utilizado foi o calcítico proveniente do município de Uberaba (MG), o qual apresenta teor de MgO semelhante ao da escória silicatada de siderurgia utilizada no experimento.

Tabela 3. Caracterização química, poder de neutralização e da reatividade do calcário calcítico.

Análise química		Reatividade	Poder de neutralização	
CaO	MgO	RE	PN	PRNT
----- g kg ⁻¹ -----		----- % -----		
372	27	87,8	73,3	64,0

4.1.2. Delineamento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 2x4 com quatro repetições, totalizando 32 unidades experimentais.

*** Fontes de corretivos:**

1 - escória silicatada de siderurgia

2 - calcário calcítico

*** Doses:**

1 - testemunha, sem correção (V(%) Original);

2 - correção do V(%) para 50 (equivalente a 1,23 t ha⁻¹ de CaCO₃);

3 - correção do V(%) para 75 (equivalente a 2,52 t ha⁻¹ de CaCO₃);

4 - correção do V(%) para 100 (equivalente a 3,80 t ha⁻¹ de CaCO₃).

A necessidade de calagem (NC) foi calculada pelo método da elevação de saturação por bases, de acordo com a análise de solo (Tabela 2) com o objetivo de atingir os valores de V(%) requeridos para cada tratamento, como mostra-se na Tabela 4.

Tabela 4. Quantidade de calcário e escória silicatada utilizados no experimento, em função dos níveis de saturação por bases desejados.

Corretivos	Necessidade de calagem			
	Testemunha	V(%)=50	V(%)=75	V(%)=100
	-----t ha ⁻¹ -----			
Calcário	0	1,92	3,92	5,93
Escória	0	3,00	6,12	9,27
Equivalência em CaCO₃	0	1,23	2,52	3,80

Nos tratamentos com calcário foi feita a aplicação manual e a lanço de micronutrientes, conforme Tabela 5, com o objetivo de equilibrar o teor destes, com os da escória silicatada. Vale destacar que não foram aplicados Fe e Mn, tendo em vista a reação ácida do solo em estudo, aliada à conhecida baixa resposta da cana-de-açúcar a esses elementos.

Tabela 5. Fontes e quantidades de micronutrientes aplicados nos tratamentos com o calcário em função dos níveis de saturação por bases desejados.

Micronutrientes	Fontes	Tratamentos – V(%)			
		Testemunha	50	75	100
		-----kg ha ⁻¹ -----			
Cobre	Sulfato de Cobre	0	5,91	12,07	18,26
Zinco	Sulfato de Zinco	0	8,63	17,64	26,68
Boro	Ácido Bórico	0	3,28	6,70	20,12

Cada parcela foi constituída por seis linhas espaçadas de 1,30 m com 7,5 m de comprimento, totalizando 58,5 m² de área total. A bordadura entre parcelas foi de 2,0 m. A área útil da parcela, foi constituída pelas quatro linhas centrais de 7,5 m de comprimento, perfazendo uma área de 39,0 m².

4.1.3. Preparo do solo

A área onde foi implantado o experimento era utilizada como pastagem de *Brachiaria decumbens*, que foi dessecada com herbicida a

base de glifosato, na dose de $2,0 \text{ L ha}^{-1}$. Após a dessecação, realizou-se o preparo do solo, constituído de: gradagem com grade aradora (14x32”) para incorporação dos restos de *Brachiaria decumbens*; aração com arado de aiveca com três corpos ativos; outra gradagem pesada; e duas gradagens leves, para nivelamento do terreno. Durante o preparo do solo, realizou-se a aplicação manual da escória silicatada de siderurgia e do calcário, obedecendo a seguinte sequência: metade da dose foi aplicada a lanço em área total antes da aração e a outra metade foi aplicada a lanço em área total, depois da aração e antes da gradagem pesada, objetivando uma melhor incorporação na profundidade de 0-20 cm.

4.1.4. Plantio

No dia 2 de janeiro de 1998 foi realizado a sulcação a 40 cm de profundidade, com largura na base superior de 40 cm e 10 cm na base inferior e com 1,3 m entre as linhas de sulcação.

Em seguida realizou a adubação básica no sulco de plantio, aplicando-se 1.300 kg ha^{-1} da fórmula 04-14-08 e $196,3 \text{ kg ha}^{-1}$ de sulfato de magnésio, os quais foram aplicados manualmente em todos os tratamentos, individualizado para cada linha da parcela. Na mesma ocasião foram aplicados no sulco 30 kg ha^{-1} de heptacloro, para o controle de pragas de solo. No dia 3 de janeiro foi realizada a distribuição das mudas utilizando-se a variedade SP 80-1842 (cana de ano), sendo logo em seguida feita a picação dos colmos a cada três gemas, deixando 15 gemas por metro de sulco e a cobertura dos toletes com 8 a 10 cm de terra.

4.1.5. Tratos culturais no primeiro e segundo ciclo da cultura

O controle de plantas daninhas na cana-planta foi realizado quimicamente três dias após plantio, a base de tebuthiuron na dose de 1,0 kg ha⁻¹ aplicado em pré-emergência da cultura e das plantas daninhas. Na reinfestação localizada, foi realizado o controle através de capina manual com enxada. Na cana-soca, o controle das plantas daninhas foi realizado mecanicamente, através de capina com enxada.

Durante a fase inicial da cultura, da cana-planta e da cana-soca (40 dias após o plantio), foram realizados o controle de formigas usando iscas granuladas.

A adubação em cobertura, foi realizada manualmente, aos 42 dias após a emergência dos brotos (cerca de 57 dias após o plantio) constituída de: 60 kg ha⁻¹ de N (uréia) + 60 kg ha⁻¹ de K₂O (cloreto de potássio) e, 100 kg ha⁻¹ de N + 150 kg ha⁻¹ de K₂O para cana-planta e soqueira, incorporados em sulco raso a 40 cm da linha plantada e a 5 cm de profundidade.

Após a colheita da cana-planta o palhiço acumulado foi aleirado mecanicamente com ancinhos aleiradores rotativos e retirados da parcela, objetivando garantir boa brotação da cana-de-açúcar.

4.1.6. Tratos culturais no terceiro, quarto e quinto ciclo da cultura

Na continuidade do experimento, o controle de plantas daninhas dos ciclos posteriores foi realizado como no segundo ciclo, ou seja, mecanicamente através de capina manual com enxada.

Com relação ao controle de formigas, foi feito o monitoramento da área do experimento na fase inicial de cada ciclo e, na ocorrência da infestação o controle foi realizado usando-se iscas granuladas.

Na adubação de cobertura para o terceiro e quarto ciclos, foram aplicados 100 kg ha^{-1} de N + 150 kg ha^{-1} de K_2O , aos 30 dias após a emergência dos brotos, incorporados em sulco raso a 40 cm da linha da cana e a 5 cm de profundidade. No quinto ciclo foram aplicados 80 kg ha^{-1} de N + 110 kg ha^{-1} de K_2O na mesma época e modo de aplicação dos ciclos anteriores.

Assim como na fase inicial do experimento, após a colheita das soqueiras foi realizado o aleiramento do palhiço mecanicamente com ancinho rotativo, sendo esse palhiço retirado das parcelas, para garantir uma boa brotação das soqueiras.

4.2. Avaliações

4.2.1. Propriedades químicas do solo da cana-soca (3° e 4° ciclo)

A amostragem do solo foi realizada na entrelinha da cultura, em três camadas do solo (0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade, coletando-se 15 sub-amostras) e nas quatro linhas centrais da parcela útil. Foi realizada aos 345 dias após a emergência dos brotos, logo após a colheita de cada ano.

A análise química foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Raij e Quaggio (1983), onde foram determinados o pH, (H+Al), V(%), Ca e Mg.

4.2.2. Avaliações do desenvolvimento da cana-soca (3°, 4° e 5° ciclos)

4.2.2.1. Perfilhamento

As avaliações do perfilhamento foi realizada aos 90 dias após a emergência dos brotos, contando-se o número de perfilhos em 1,0 m, para cada linha da parcela útil. O valor foi expresso em número de perfilhos por metro.

4.2.2.2. Altura da planta

Esta avaliação foi realizada aos 240 dias após a emergência do broto da cana-de-açúcar, em cinco plantas, ao

acaso para cada linha da parcela útil, totalizando 20 plantas por parcela. Na avaliação considerou-se desde a superfície do terreno até o último nó visível. O valor foi expresso em metros.

4.2.2.3. Massa unitária de colmo

A avaliação do massa unitária de colmos foi feita coletando-se colmos em 1,5 m de cada linha útil (2 linhas/parcela), descartando-se os brotos. Os colmos da amostra foram pesados e, a massa obtida foi dividida pelo número total de colmos da amostra, cujo resultado foi expresso em quilograma.

4.2.2.4. Número de colmos

O número de colmos foi avaliado semelhante à massa unitária, isto é, foi contado o número de colmos em 1,5 m de cada linha útil (2 linhas/parcela), descartando-se os brotos. O valor foi expresso em número de colmos por metro.

4.2.2.5. Produção de colmos

A colheita dos colmos da cana-de-açúcar foi realizada considerando a parcela útil, aos 345 dias após a emergência dos brotos, pelo método de colheita da cana crua. O valor foi expresso em toneladas por hectare.

4.3. Análise estatística

A análise estatística do experimento foi realizada pelo sistema ESTAT, em um delineamento de blocos casualizados em esquema fatorial 2 x 4 com quatro repetições.

Os fatores foram constituídos de duas fontes de corretivos (calcário calcítico e escória silicatada) e quatro doses (1 - Testemunha, sem correção; 2 - V(%)= 50; 3 - V(%)= 75 e 4 - V(%)= 100), como mostra o esquema da análise de variância apresentada na Tabela 6.

Tabela 6. Esquema da análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos (Blocos Casualizados).

Causas da Variação	G.L.
Corretivos (C)	1
Doses (D)	3
C x NC	3
(Tratamento)	(7)
Blocos	3
Resíduo	21
Total	31

Para detectar possível tendência de efeito dos níveis das fontes de corretivo utilizadas, decidiu-se fazer a análise de variância considerando a regressão até o segundo grau. Para isto, os dados de cada fonte de corretivo foram analisados separadamente, juntamente com a testemunha, considerada como dose zero, constituindo-se então, quatro doses. O esquema da análise de variância considerando a regressão está apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Esquema da análise de variância considerando-se as regressões linear e quadrática aplicada no experimento.

Causas da Variação	G.L.
Regressão Linear	1
Regressão Quadrática	1
Desvio da Regressão	1
(Tratamento)	(3)
Blocos	3
Resíduo	9
Total	15

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades químicas do solo

Nas Tabelas 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 e Figuras 1, 2, 3 e 4 estão apresentados os dados de pH, V(%), (H+Al), Ca e Mg referentes às amostragens feitas após o terceiro e quarto ciclo da cultura da cana-de-açúcar.

5.1.1. Correção da acidez

Pela Tabela 8 observa-se que ambos os corretivos apresentaram efeito semelhante no índice pH do solo, com exceção da camada de 20-40 cm do quarto ciclo, onde a escória silicatada foi superior ao calcário calcítico. Em relação às doses utilizadas, houve efeito significativo ($P < 0,01$) no terceiro e quarto ciclo para as três camadas analisadas, mostrando haver diferenças significativas entre elas. Já a interação corretivos x doses, não apresentou

efeito significativo para as camadas analisadas, tanto para a amostragem após o terceiro como o quarto ciclo.

Tabela 8. Valores médios de pH – CaCl₂ do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostrada após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Profund. (cm)	3º CICLO			4º CICLO		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
FONTES (F)	----- pH – CaCl ₂ -----					
Escória	5,4	5,2	4,8	4,6	4,4	4,1
Calcário	5,4	5,0	4,8	4,6	4,3	4,0
Teste F	0,73 ns ¹	4,20 ns	0,93 ns	0,91 ns	5,47 *	1,00 ns
DOSES (D)						
Teste F	45,50 **	18,52 **	9,75 **	35,97 **	18,04 **	10,51 **
F x D						
Teste F	0,30 ns	0,69 ns	0,24 ns	0,37 ns	0,94 ns	0,21 ns
CV (%)	3,4	4,2	3,8	3,6	4,2	3,9

² **, *, ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo (P>0,05) respectivamente pelo teste F.

Através da análise de regressão (Figura 1), observou-se efeito linear positivo para a variável pH do solo tanto para calcário quanto para a escória e, em todas as camadas de solo avaliadas. Com isso, com o incremento das doses dos corretivos até a dose máxima utilizada ($3,8 \text{ t CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$), houve um aumento no índice pH do solo. Resultados semelhantes foram observados por Pereira (1978) e Piau (1995) que avaliaram a escória e o calcário em dois solos.

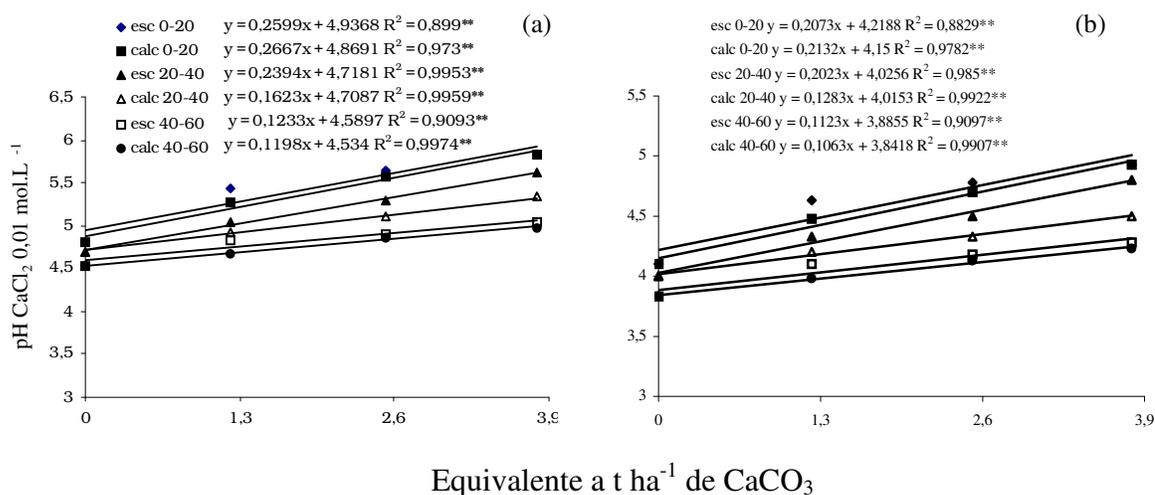


Figura 1. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no pH – CaCl_2 do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

A correção da acidez do solo, tanto com o calcário como com a escória, promoveram efeitos semelhantes na saturação por bases do solo. Apenas na camada de 20-40 cm a escória silicatada foi superior ao calcário

calcítico quanto à saturação por bases (Tabela 9). Já entre as doses dos corretivos, houve efeito significativo ($P < 0,01$) no terceiro e quarto ciclo em todas as camadas estudadas e, assim como para a variável pH do solo, não houve interação entre corretivos e doses para a saturação por bases.

Tabela 9. Valores médios da saturação por bases (V%) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Profund. (cm)	3º CICLO			4º CICLO		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
FONTES (F)	----- V(%) -----					
Escória	59	48	26	50	41	24
Calcário	58	44	28	49	38	26
Teste F	0,90 ns ¹	7,43 *	1,95 ns	0,96 ns	7,74 *	0,86 ns
DOSES (D)						
Teste F	163,64 **	75,48 **	21,25 **	165,58 **	76,30 **	9,10 **
F x D						
Teste F	0,38 ns	1,42 ns	1,23 ns	0,32 ns	1,41 ns	0,25 ns
CV (%)	5,1	7,9	11,6	5,1	7,8	19,8

¹ **, *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Pela Figura 2 observa-se que, para os dois corretivos, houve efeito quadrático para a saturação por bases na camada de 0-20 cm. Nas demais camadas, o efeito foi linear para ambos os corretivos.

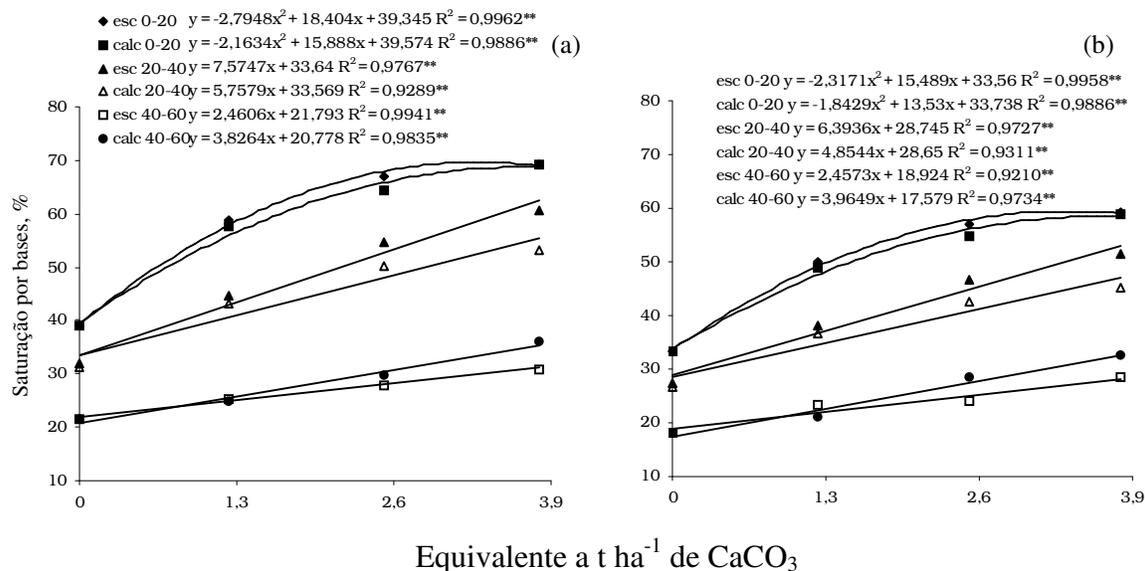


Figura 2. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, na saturação por bases (V%) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

Os dados obtidos para saturação por bases evidenciam que a escória e o calcário proporcionaram aumentos para esta variável. No entanto, mesmo após o quarto ciclo da cana-de-açúcar, apenas a dose de corretivo equivalente a $1,3\ t\ ha^{-1}$ de $CaCO_3$, necessária para elevar o V(%) a 50, atingiu o objetivo desejado. As outras doses utilizadas foram ineficientes, não atingindo o valor de V(%) desejada. Tescaro (1998) sinaliza que esta ineficiência pode ser pelo alto potencial de cargas dependentes de pH comum em solos tropicais, pelas altas doses de corretivos que afetam a reação de equilíbrio da solubilização dos corretivos e ainda ocorre a formação de novos minerais no solo em formas de hidróxido pouco solúvel. Além disso, os índices de reatividade, adotados

atualmente, para o cálculo da RE, apresentam-se superestimados, dentro do prazo estimado na legislação de 0-90 dias (Natale e Coutinho, 1994) e, conseqüentemente a dose do corretivo fica subestimada.

Na Tabela 10, com relação à acidez potencial do solo, observa-se que não houve diferença significativa entre os corretivos tanto nos ciclos quanto nas camadas avaliadas. O mesmo ocorreu para a interação corretivos x doses. No entanto, analisando as doses separadamente, nota-se que houve efeito significativo ($P < 0,01$) para os ciclos e camadas.

Tabela 10. Valores médios da acidez potencial ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Profund. (cm)	3º CICLO			4º CICLO		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
FONTES (F)	----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----					
Escória	23	24	27	20	22	23
Calcário	24	26	27	20	21	23
Teste F	0,21 ns ¹	2,22 ns	0,10 ns	0,06 ns	2,25 ns	0,02 ns
DOSES (D)						
Teste F	26,83 **	10,06 **	8,82 **	27,68 **	9,58 **	8,89 **
F x D						
Teste F	0,67 ns	0,31 ns	0,02 ns	0,59 ns	0,37 ns	0,01 ns
CV (%)	11,5	11,9	10,5	11,4	12,1	10,9

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Através da análise de regressão (Figura 3) observa-se que houve efeito linear negativo para a acidez potencial em todas as camadas avaliadas e para as duas fontes de corretivos utilizadas, mostrando o efeito benéfico no solo de ambos corretivos até a profundidade de 60 cm.

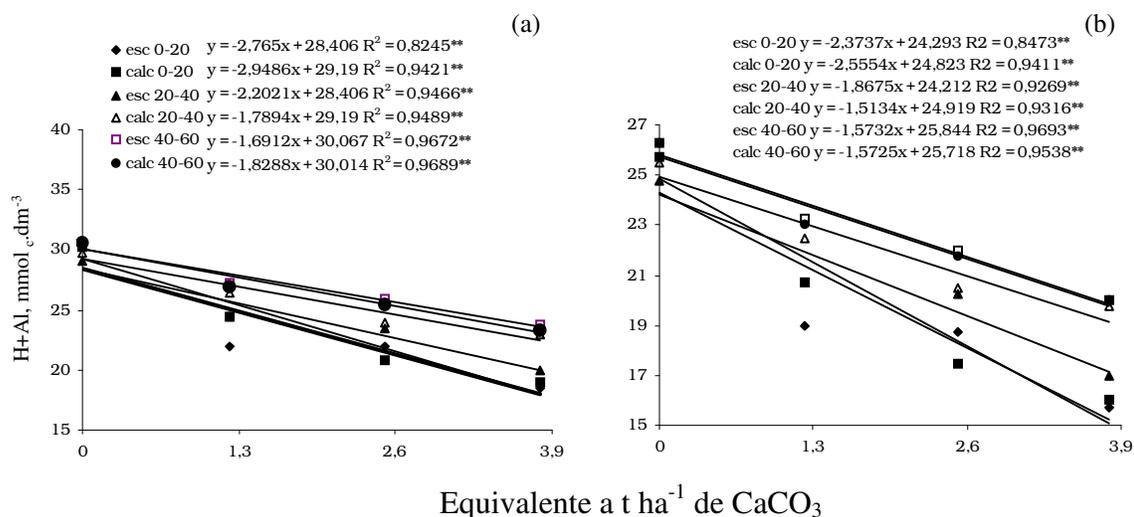


Figura 3. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, na acidez potencial (mmol_c dm⁻³) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

Os resultados observados referentes à correção da acidez do solo evidenciaram os efeitos positivos da aplicação da escória silicatada e do calcário na camada incorporada e em subsuperfície, com a mesma tendência observada na camada superficial (0-20cm). Na literatura, têm sido freqüentemente relatados estudos que confirmam a baixa ação do calcário no perfil do solo (Koch e Estes, 1986 citados por Prado et al., 2003), enquanto outros evidenciam a neutralização da acidez em subsuperfície (Oliveira e Pavan, 1996 citados por Prado et al., 2003). Morelli et al. (1992) citados por Prado et al. (2003) também observaram este fato na reação do solo em

subsuperfície, em área cultivada com cana-de-açúcar após a aplicação de calcário.

Esse efeito no perfil do solo pode receber contribuição de natureza física, onde os corretivos descem por canais formados pela decomposição de raízes (Pearson et al., 1962), ou de natureza química, seja pela formação de pares entre bases (Ca e Mg) e ácidos orgânicos de alta solubilidade, os quais estariam permitindo o carreamento destes pares às camadas subsuperficiais do perfil (Miyazawa et al., 1993; Franchini et al., 1999; Miyazawa et al., 2001), seja pela adubação nitrogenada, que pode levar à formação de sais solúveis de nitrato de cálcio, os quais podem ser lixiviados pelo movimento descendente da água no perfil do solo (BLEVINS et al., 1977).

Com relação ao efeito residual dos corretivos, na camada de 0-20 cm, o pH, a saturação por bases e a acidez potencial, apresentaram uma redução de 15% do 3º para o 4º ciclo, podendo-se notar que o efeito residual do calcário foi semelhante ao da escória silicatada na correção da acidez do solo. Estudos semelhantes com o uso do calcário demonstram esse efeito residual em solo cultivado com cana-de-açúcar, podendo prolongar até 33 meses (Silva et al., 1991) ou até 56 meses, especialmente em solos arenosos (ORLANDO FILHO et al., 1996).

Para a escória silicatada praticamente inexistem estudos realizados no Brasil que tratam do efeito residual em área cultivada com cana-de-açúcar. Entretanto, nos dois primeiros anos agrícolas deste trabalho, descritos por Prado et al. (2001), mostrou-se que a reação máxima dos corretivos atingiu, aos 12 meses e na dose máxima dos corretivos, a saturação por bases (camada de 0-20 cm), em média, 82% durante os primeiros 24 meses após sua aplicação. Já aos 36-48 meses, a saturação por bases manteve-se próxima a

64% para a mesma dose de corretivos (média de calcário e escória), mostrando assim, a semelhança desses corretivos em relação ao efeito residual na correção da acidez do solo.

Em Taiwan, a escória silicatada aplicada em áreas cultivadas com arroz tem apresentado efeito residual prolongado (Lian, 1992 citado por Prado et al., 2003), bem como no Havaí, em um sistema de rotação de culturas (cana-de-açúcar, milho e desmodium), com um efeito residual favorável durante cinco anos, independentemente do pH inicial do solo (5,5; 6,0 ou 6,5) (KALID et al., 1978 citados por PRADO et al., 2003).

5.1.2. Disponibilidade de Ca e Mg

Pela Tabela 11 observa-se que os corretivos foram semelhantes quanto ao teor de Ca-trocável no solo para a camada de 0-20 cm no 3º e 4º ciclo da cultura da cana e, para a camada de 40-60 cm no 4º ciclo. A escória silicatada foi superior ao calcário calcítico na camada de 20-40 cm para os dois ciclos avaliados, sendo inferior, estatisticamente, apenas na camada de 40-60 cm no terceiro ciclo da cultura, mas com valores numéricos muito próximos. Houve interação corretivos x doses apenas na camada de 40-60 cm no terceiro e quarto ciclo. No entanto, a análise separada das doses mostrou-se efeito significativo ($p < 0,01$) em todos os ciclos e camadas avaliadas.

Na Tabela 12, comparando os corretivos dentro de cada dose, nota-se que, na camada de 40-60 cm e na dose equivalente a $2,52 \text{ t CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$, o calcário calcítico apresentou um maior teor de Ca-trocável no solo que a escória silicatada, tanto no terceiro como no quarto ciclo da cana-de-açúcar.

O aumento do teor de Ca-trocável no solo foi observado no terceiro e quarto ciclo da cultura e em todas as camadas, com o incremento das doses dos corretivos. Resultados semelhantes foram observados por Pereira (1978) e Piau (1995) que avaliaram a escória e o calcário em dois solos.

Tabela 11. Valores médios de cálcio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Profund. (cm)	3º CICLO			4º CICLO		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
FONTES (F)	----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----					
Escória	29	21	7	25	18	6
Calcário	28	18	8	24	15	7
Teste F	1,63 ns ¹	12,01 **	9,67 **	1,18 ns	11,80 **	3,99 ns
DOSES (D)						
Teste F	120,27 **	45,09 **	32,48 **	121,05 **	40,99 **	21,54 **
F x D						
Teste F	1,20 ns	2,36 ns	3,53 *	0,90 ns	2,35 ns	5,13 **
CV (%)	8,7	13,8	12,2	8,7	14,2	18,7

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Tabela 12. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de cálcio trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), na camada de 40-60 cm do solo, amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Fontes	Doses ($\text{t CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	0	1,23	2,52	3,80
3º Ciclo				
----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----				
Escória	6	6	7	9
Calcário	6	6	10	10
4º Ciclo				
----- $\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----				
Escória	5	5	6	9
Calcário	5	5	10	8

Através da análise de regressão (Figura 4), com exceção da camada de 0-20 cm corrigida com calcário, que apresentou efeito quadrático para Cálcio trocável, as demais camadas apresentaram efeito linear positivo para as duas fontes de corretivos utilizados.

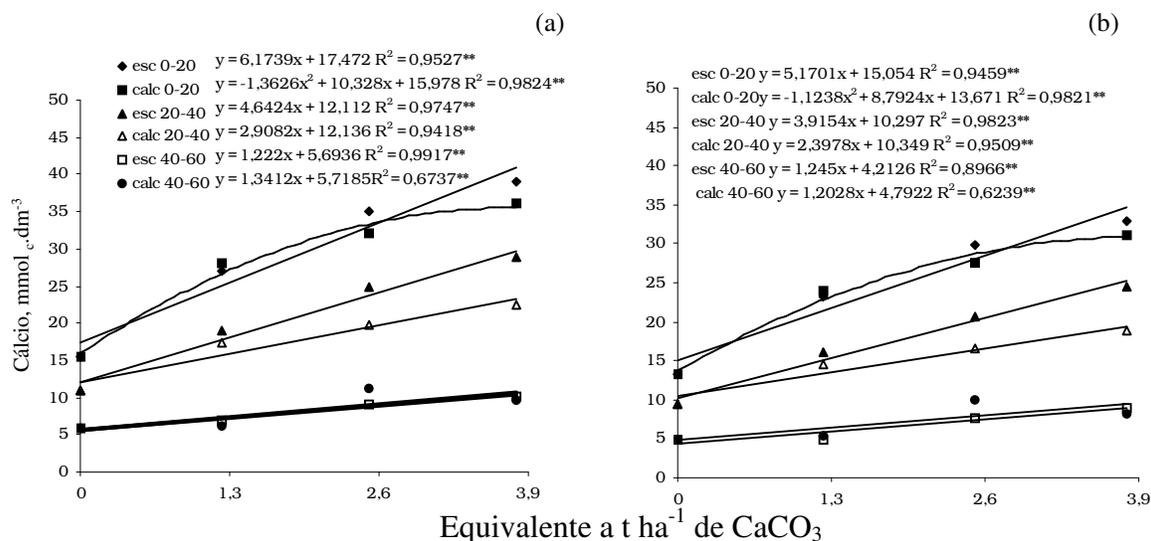


Figura 4. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no teor de cálcio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

Em relação ao teor de Mg-trocável no solo, pode-se observar na Tabela 13, que especialmente na camada de 20-40 cm nos dois ciclos estudados, a escória silicatada foi superior ao calcário calcítico. Ainda na camada de 20-40 cm, observou-se efeito significativo ($P < 0,01$) para a interação corretivos x doses. Entretanto, para as doses, houve efeito significativo ($P < 0,01$) dos tratamentos para épocas de amostragem (3º e 4º ciclo) para as camadas avaliadas.

Tabela 13. Valores médios de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo e valores F, nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade amostradas após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Profund. (cm)	3º CICLO			4º CICLO		
	0-20	20-40	40-60	0-20	20-40	40-60
FONTES (F)	----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----					
Escória	5	4	3	4	4	3
Calcário	5	3	3	4	3	3
Teste F	0,34 ns ¹	20,33 **	1,73 ns	1,62 ns	9,00 **	0,00 ns
DOSES (D)						
Teste F	13,20 **	34,66 **	16,12 **	10,77 **	20,33 **	10,82 **
F x D						
Teste F	0,34 ns	6,44 **	0,71 ns	0,54 ns	5,67 **	0,64 ns
CV (%)	13,2	13,4	14,2	14,8	12,0	13,8

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Na Tabela 14 observa-se que, na camada de 20-40 cm, para a maior dose de corretivo utilizada, a escória silicatada foi superior ao calcário calcítico quanto à elevação no teor de Mg-trocável do solo para o terceiro e quarto ciclo. Entretanto, em solos com teor de Mg-trocável inferior a $3,6 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$, como é o caso do presente trabalho, Kidder e Gascho (1977) citados por Prado et al. (2003), recomendaram a aplicação de 40 kg ha^{-1} de

Mg, em pré-plantio, em área na qual será utilizada a escória silicatada de siderurgia.

Tabela 14. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), na camada de 20-40 cm do solo, amostrada após o 3º e 4º ciclo da cana-de-açúcar.

Fontes	Doses ($\text{t CaCO}_3 \cdot \text{ha}^{-1}$)			
	0	1,23	2,52	3,80
3º Ciclo				
----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----				
Escória	2	3	4	5
Calcário	2	3	3	4
4º Ciclo				
----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----				
Escória	2	3	3	4
Calcário	2	3	3	3

Através da análise de regressão para o teor de Mg-trocável no solo (Figura 5), verifica-se que houve efeito linear positivo para todas as camadas, exceto para a camada de 40-60 cm, onde após o terceiro ciclo da cultura apresentou efeito quadrático para a escória silicatada e, após o quarto ciclo, para o calcário.

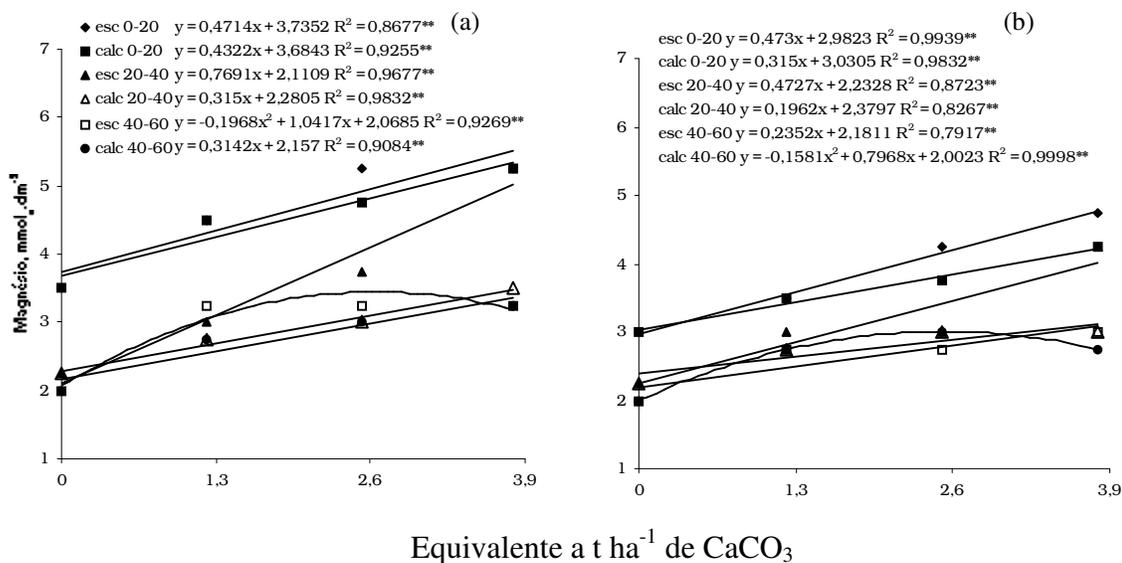


Figura 5. Efeito das doses do solo, com o calcário e a escória silicatada, no teor de magnésio trocável ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

Estes resultados referentes a cálcio e magnésio trocáveis mostram, de maneira geral, que os corretivos incorporados na camada de 0-20 cm alteraram as propriedades químicas do solo das camadas subsuperficiais. Assim, pode-se inferir que os materiais corretivos apresentaram mobilidade no solo. De modo que estes resultados estão de acordo com Amaral et al. (1965) que constataram uma lixiviação considerável de Ca e Mg em tempo curto (12 meses). Observa-se ainda, que estes resultados concordam com Raij et al. (1982) quanto a lixiviação destes nutrientes dos corretivos no perfil do solo.

Nas Figuras 6, 7, 8, 9 e 10 estão apresentados os efeitos de algumas propriedades químicas do solo na produção de colmos da cana-de-açúcar. Nota-se que quando foi utilizada a escória silicatada, o pH, a acidez potencial, a saturação por bases, o Ca e o Mg, apresentaram efeito linear benéfico para a produção de colmos no terceiro e quarto ciclo e em todas as camadas avaliadas. Já quando se aplicou calcário calcítico, o efeito foi quadrático para todas as variáveis nos dois ciclos e nas três camadas avaliadas, exceto para a acidez potencial, onde o efeito do calcário foi quadrático apenas na camada de 40-60 cm no 3º ciclo e, no 4º ciclo, nas camadas de 20-40 e 40-60 cm. Estes resultados demonstram que a cana-de-açúcar responde tanto aos teores de Ca e Mg do solo como para a acidez do solo representada pelo pH e acidez potencial, principalmente quando se utilizou a escória silicatada.

Orlando Filho e Rodella (1987) relacionaram que a melhor resposta da cana-de-açúcar à aplicação de calcário deve-se mais ao efeito dos nutrientes (Ca e Mg) do que pela correção da acidez propriamente dita. Já que essa é uma cultura onde ocorre uma certa tolerância a acidez do solo (AZEVEDO e SARRUGE, 1984).

O efeito dos corretivos, observado nas camadas abaixo da camada mobilizada pelo preparo de solo, mostrou-se importante na produção de colmos da cana-de-açúcar, concordando com resultados obtidos por outros autores. (AMARAL et al., 1965; RIBEIRO et al., 1984 e PRADO et al., 1998)

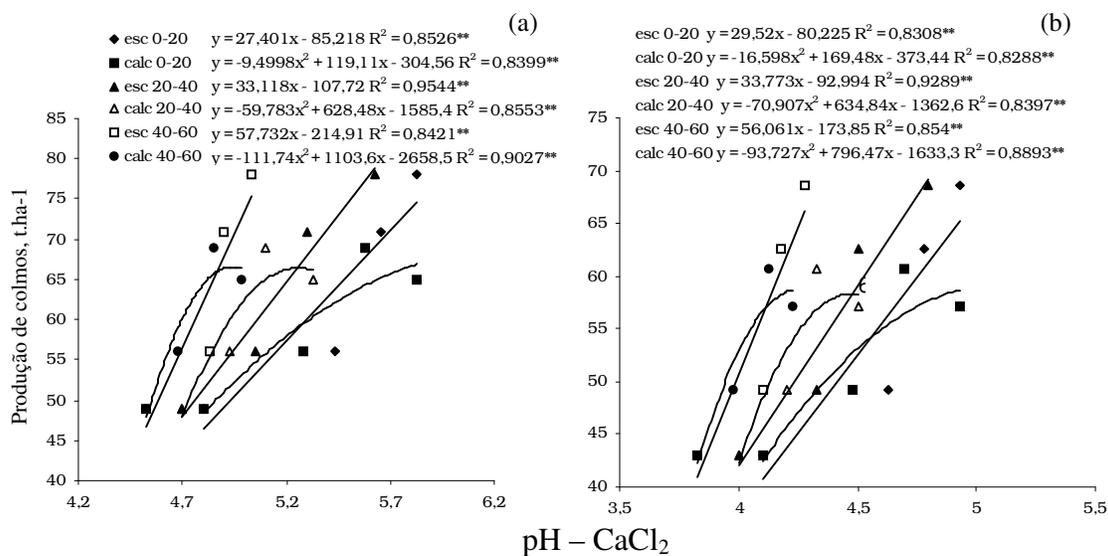


Figura 6. Efeito do pH – CaCl₂ do solo na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3^o (a) e 4^o (b) ciclo da cana-de-açúcar.

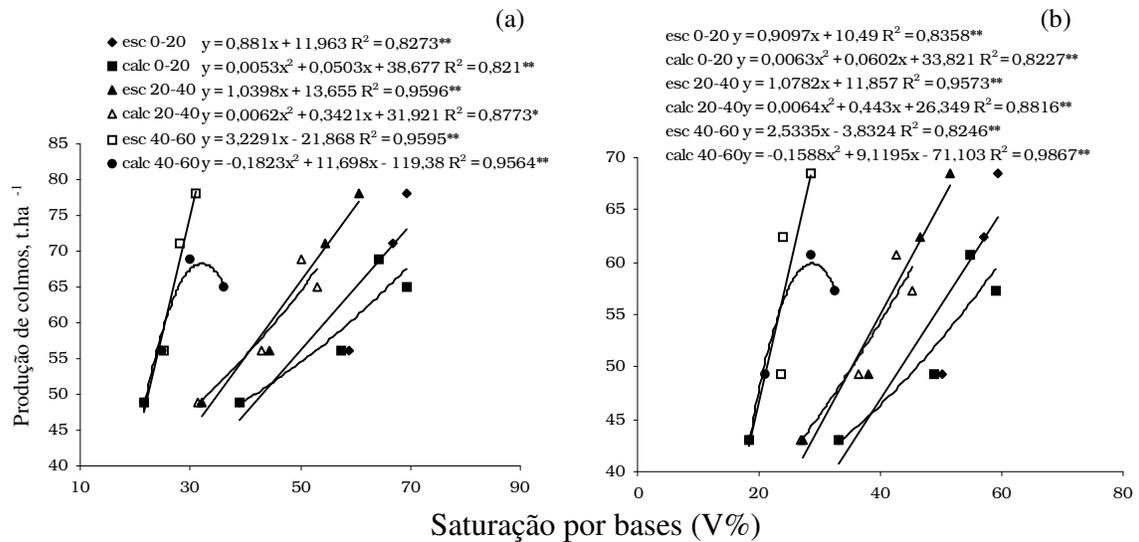


Figura 7. Efeito do saturação por bases (V%) do solo na produção de colmos ($t \cdot ha^{-1}$) da cana-de-açúcar, utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

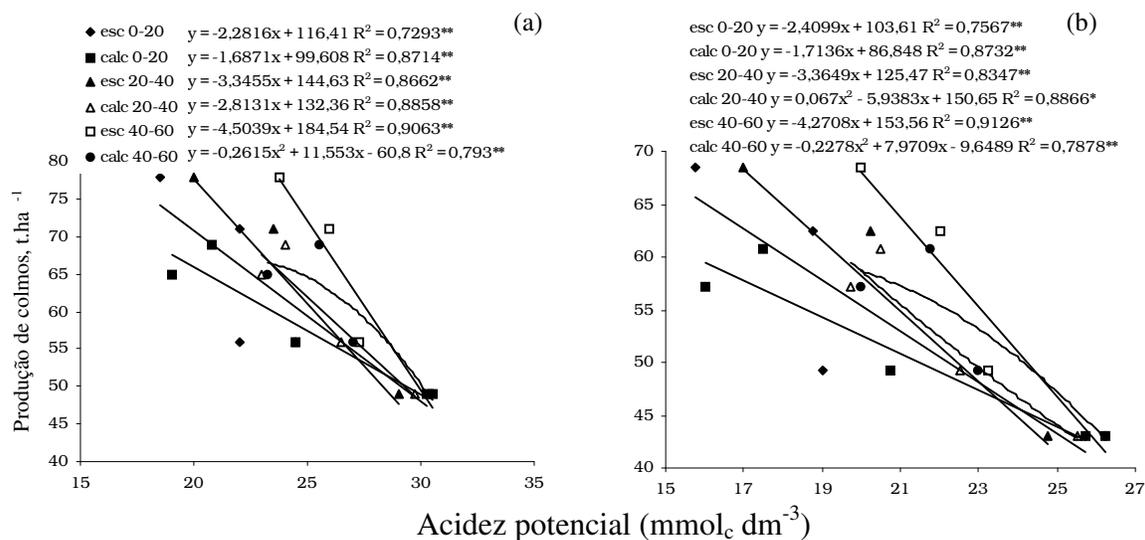


Figura 8. Efeito da acidez potencial ($\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$) do solo na produção de colmos (t ha^{-1}), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

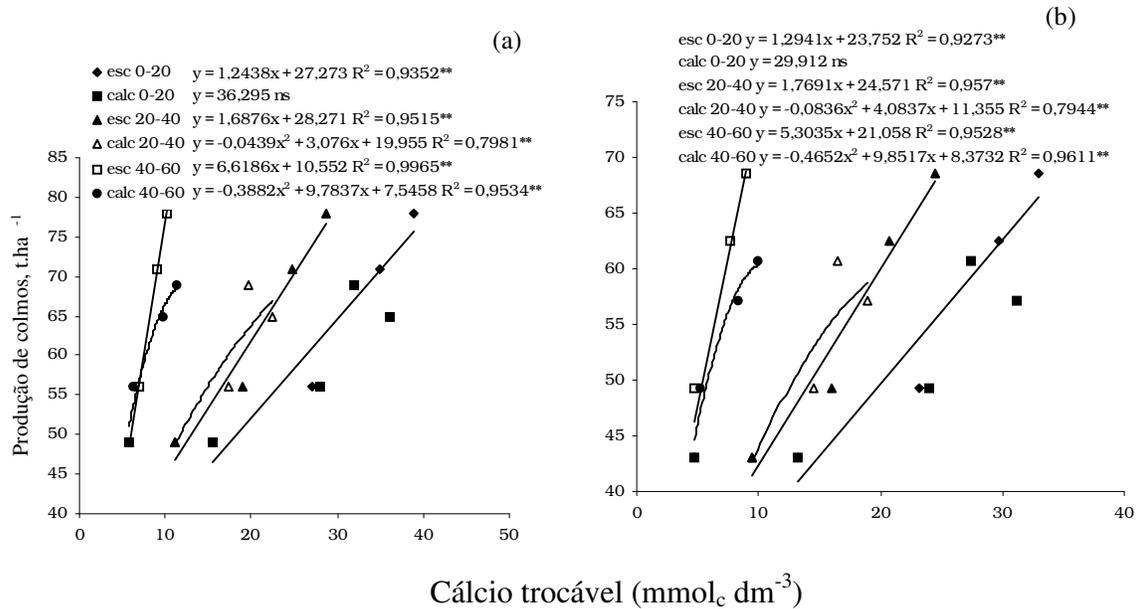


Figura 9. Efeito do teor de cálcio trocável (mmol_c dm⁻³) do solo na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

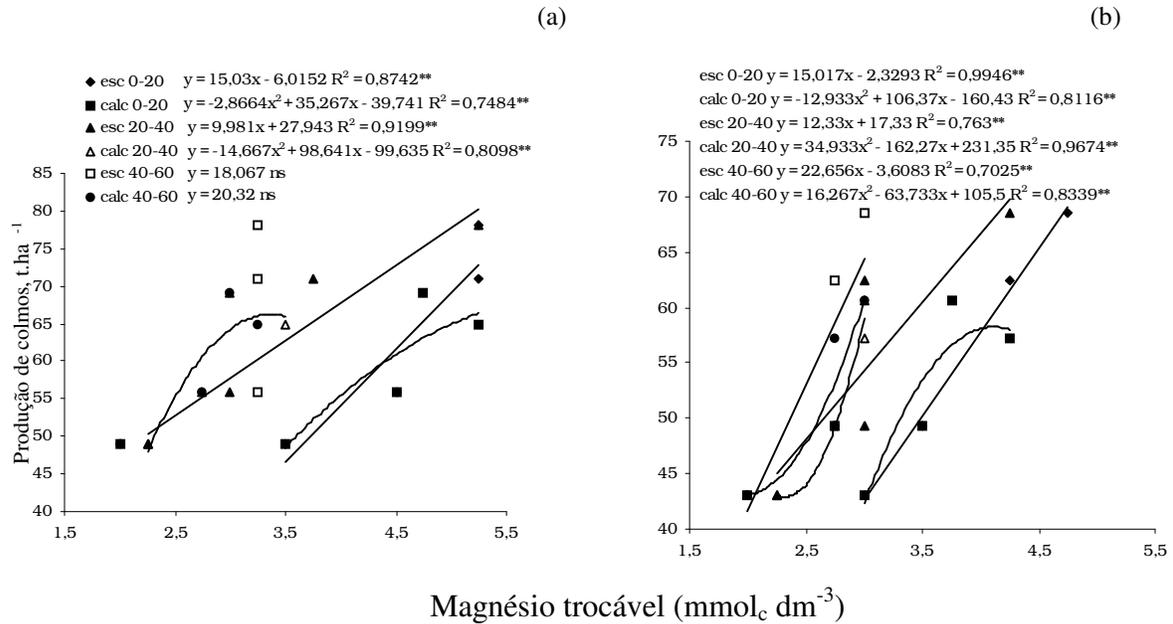


Figura 10. Efeito do teor de magnésio trocável ($mmol_c \cdot dm^{-3}$) do solo na produção de colmos ($t \cdot ha^{-1}$), utilizando o calcário e escória silicatada como corretivos, nas camadas de 0-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para o 3º (a) e 4º (b) ciclo da cana-de-açúcar.

Uma das possíveis explicações da relação linear dos atributos químicos do solo, alterados com a aplicação da escória silicatada, e a produção de colmos da cana-de-açúcar, refere-se a reação lenta da escória silicatada no solo e que mesmo as aplicações com o objetivo de elevar o V(%) para 75 e 100 não foram suficientes para mudanças bruscas na reação do solo que poderiam ocasionar algum dano nutricional às plantas. Essa reação mais lenta da escória no solo foi constatada por Fortes (1993) e Piau (1991) que compararam três escórias de siderurgia com calcário quanto ao incremento de Ca no solo através da eficiência de reação no solo no período de 30 a 90 dias após a incubação e, observaram maior eficiência nos primeiros 30 e 60 dias para o calcário e no final para a escória.

Ando et al. (1988) atribuíram esta reação mais lenta da escória no solo à presença de impurezas como o alumínio que, segundo Crane (1930), está em função da constituição química da escória a qual apresenta parte de compostos de Ca e Mg ligados a alumino-silicatos.

5.2. Efeito na planta

Os dados apresentados a seguir referem-se ao desenvolvimento da cana-de-açúcar no terceiro, quarto e quinto ciclo.

5.2.1. Perfilhamento, altura de planta e massa unitária de colmos

Na Tabela 15 observa-se que o perfilhamento foi significativamente ($P < 0,01$) afetado pelos corretivos e doses, no entanto, a interação corretivos x doses não foi significativa.

Nota-se ainda que o uso da escória silicatada proporcionou um maior perfilhamento que o calcário calcítico no 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

Tabela 15. Valores médios do número de perfilhos por metro e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

FONTES (F)	3º CICLO	4º CICLO	5º CICLO
Escória	29	26	21
Calcário	27	23	19
Teste F	8,49 ** ¹	8,36 **	8,88 **
DOSES (D)			
Teste F	9,81 **	9,80 **	10,52 **
F x D			
Teste F	2,38 ns	2,34 ns	2,44 ns
CV (%)	8,7	8,7	8,4

¹ **: *; ns: significativo (P<0,01); (P<0,05) e não significativo (P>0,05) respectivamente pelo teste F.

Portanto, confrontando-se as doses com o perfilhamento através da regressão polinomial (Figura 11), observa-se que o número de perfilhos foi afetado linear e positivamente para os dois corretivos utilizados, mostrando que, o incremento das doses dos corretivos resultou no aumento do perfilhamento da planta. Este efeito linear positivo da escória no perfilhamento da cultura da cana-de-açúcar também observado por Prado e Fernandes (2000b).

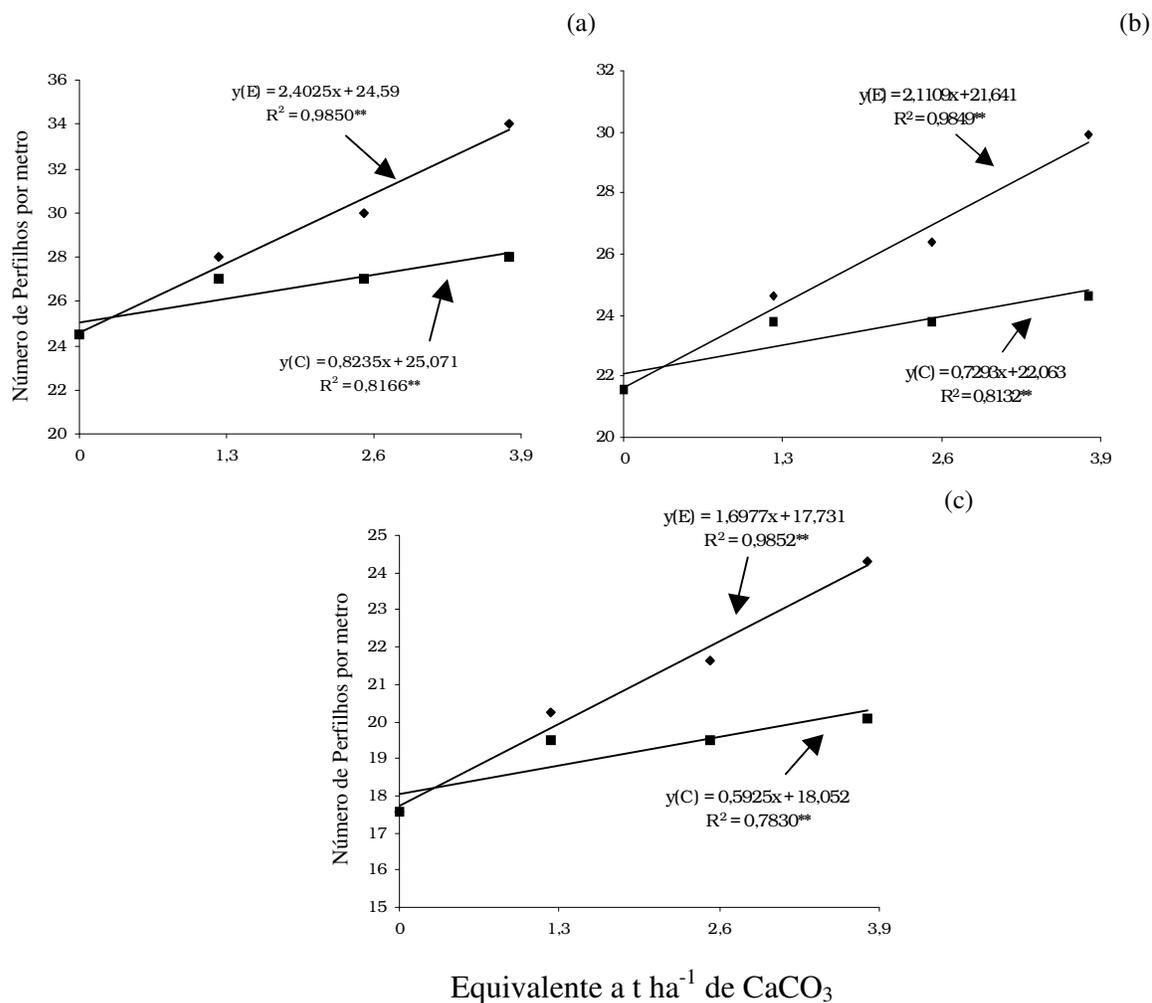


Figura 11. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no perfilhamento da cana-de-açúcar, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo.

Elawad et al. (1982) encontraram resultados semelhantes, os quais observaram que a aplicação da escória silicatada aumentava, em média, o número de colmos em 35% e 61% na cana-planta e cana-soca

respectivamente. Os autores atribuíram o efeito do silício, embora o mecanismo de ação não esteja totalmente esclarecido.

Com relação à altura de planta (Tabela 16), não foram registrados efeitos significativos para corretivos e para a interação corretivos x doses. No entanto, o fator doses foi significativo ($P < 0,01$) nos três ciclos avaliados.

Tabela 16. Valores médios da altura de planta (m) e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

FONTES (F)	3º CICLO	4º CICLO	5º CICLO
	----- m -----		
Escória	1,56	1,37	1,12
Calcário	1,58	1,39	1,14
Teste F	0,10 ns ¹	0,11 ns	0,10 ns
DOSES (D)			
Teste F	6,37 **	6,48 **	6,50 **
F x D			
Teste F	0,82 ns	0,87 ns	0,77 ns
CV (%)	10,9	10,9	11,1

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Pela Figura 12 observa-se que houve efeito linear positivo para a escória silicatada e calcário calcítico em todos os ciclos avaliados, exceto para a escória no quarto e quinto ciclo onde o efeito foi quadrático.

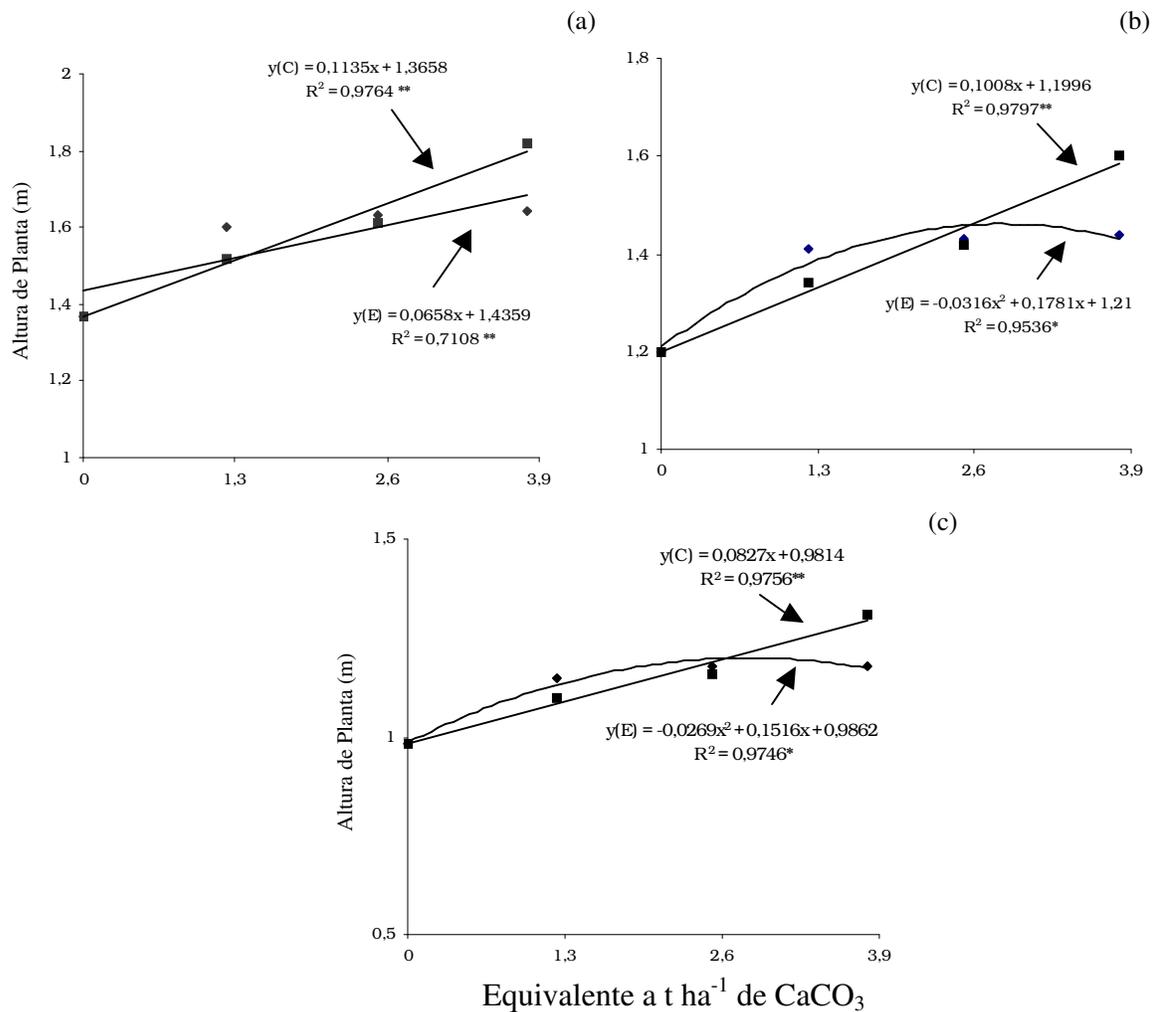


Figura 12. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), na altura de planta (m) da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar.

Na Tabela 17, referente ao massa unitária de colmos, observa-se que não houve efeito significativo para corretivos e para a interação corretivos x doses, no entanto, as doses quando analisados separadamente, apresentaram efeito significativo ($P < 0,01$).

Tabela 17. Valores médios de massa unitária de colmos (kg) da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

FONTES (F)	3º CICLO	4º CICLO	5º CICLO
	----- kg -----		
Escória	0,83	0,73	0,60
Calcário	0,82	0,72	0,59
Teste F	1,20 ns ¹	1,16 ns	0,56 ns
DOSES (D)			
Teste F	157,89 **	147,88 **	142,86 **
F x D			
Teste F	0,28 ns	0,37 ns	0,39 ns
CV (%)	3,7	3,9	4,0

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Através da análise de regressão (Figura 13), nota-se que no terceiro, quarto e quinto ciclo, o efeito foi linear e positivo tanto para a escória silicatada como para o calcário calcítico, mostrando que ambas as fontes aumentaram o massa unitária de colmos com o incremento das doses.

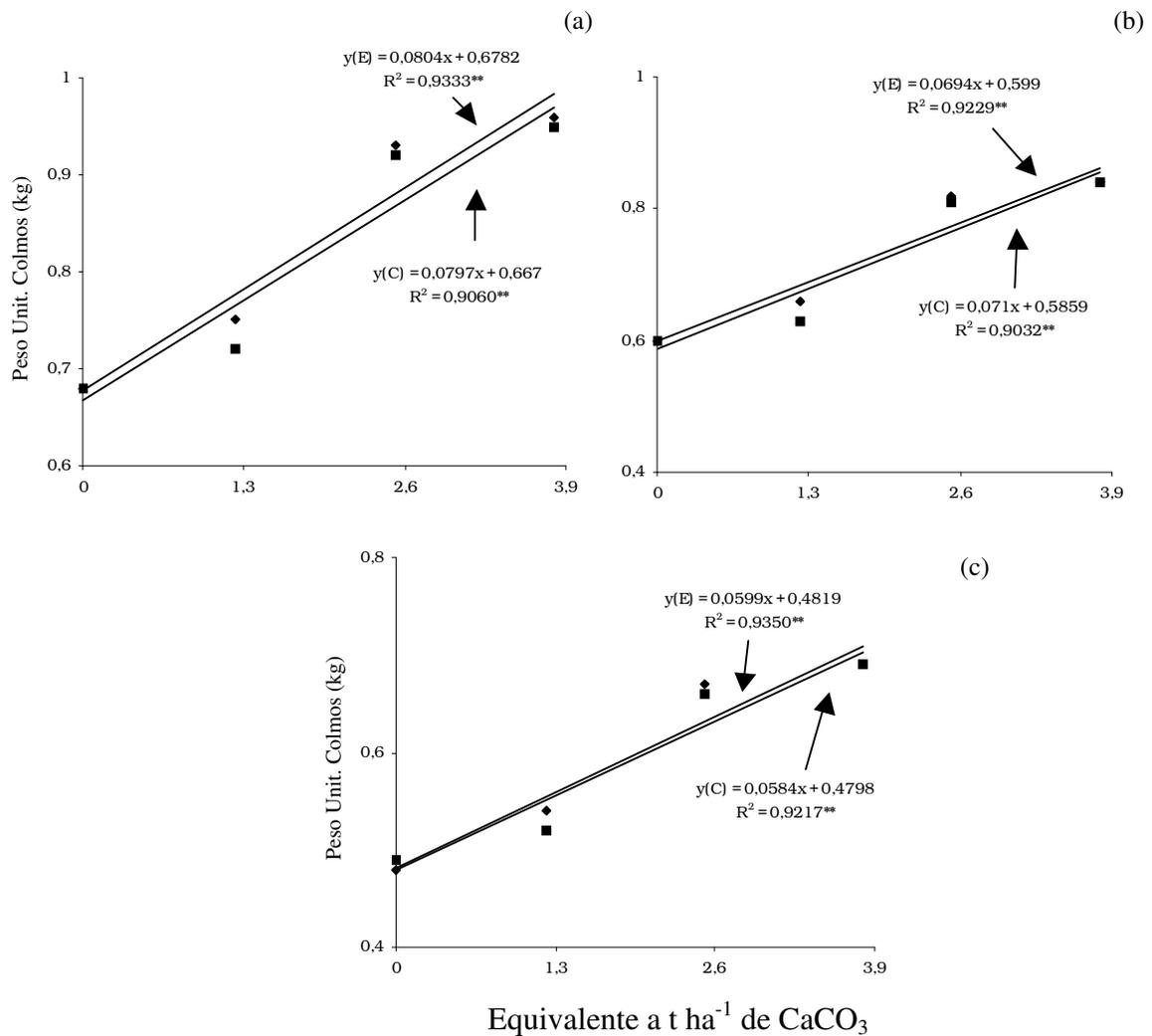


Figura 13. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no massa unitária de colmos (kg) da cultura da cana, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar.

5.2.2. Número de colmos e produção de colmos

O número de colmos (Tabela 18) não foi afetado significativamente pelos corretivos, entretanto, o efeito das doses e da interação corretivos x doses foi significativo ($P < 0,01$ e $P < 0,05$, respectivamente).

Tabela 18. Valores médios de número de colmos por metro da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

FONTES (F)	3º CICLO	4º CICLO	5º CICLO
Escória	9,69	8,51	6,96
Calcário	9,37	8,23	6,74
Teste F	1,71 ns ¹	1,70 ns	1,63 ns
DOSES (D)			
Teste F	5,69 **	5,85 **	7,24 **
F x D			
Teste F	3,89 *	3,88 *	4,18 *
CV (%)	7,2	7,3	7,1

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Pela análise de regressão (Figura 14), nota-se que houve efeito quadrático para o calcário calcítico e linear positivo para a escória silicatada, mostrando que a maior dose de calcário ($3,8 \text{ t CaCO}_3 \text{ ha}^{-1}$) causou efeito depressivo no número de colmos. Já com o uso da escória, o número de colmos aumentou linear e positivamente até a maior dose utilizada

(equivalente a $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ de CaCO_3). Resultados semelhantes foram obtidos por Prado et al. (2001) nos dois primeiros anos agrícolas deste experimento.

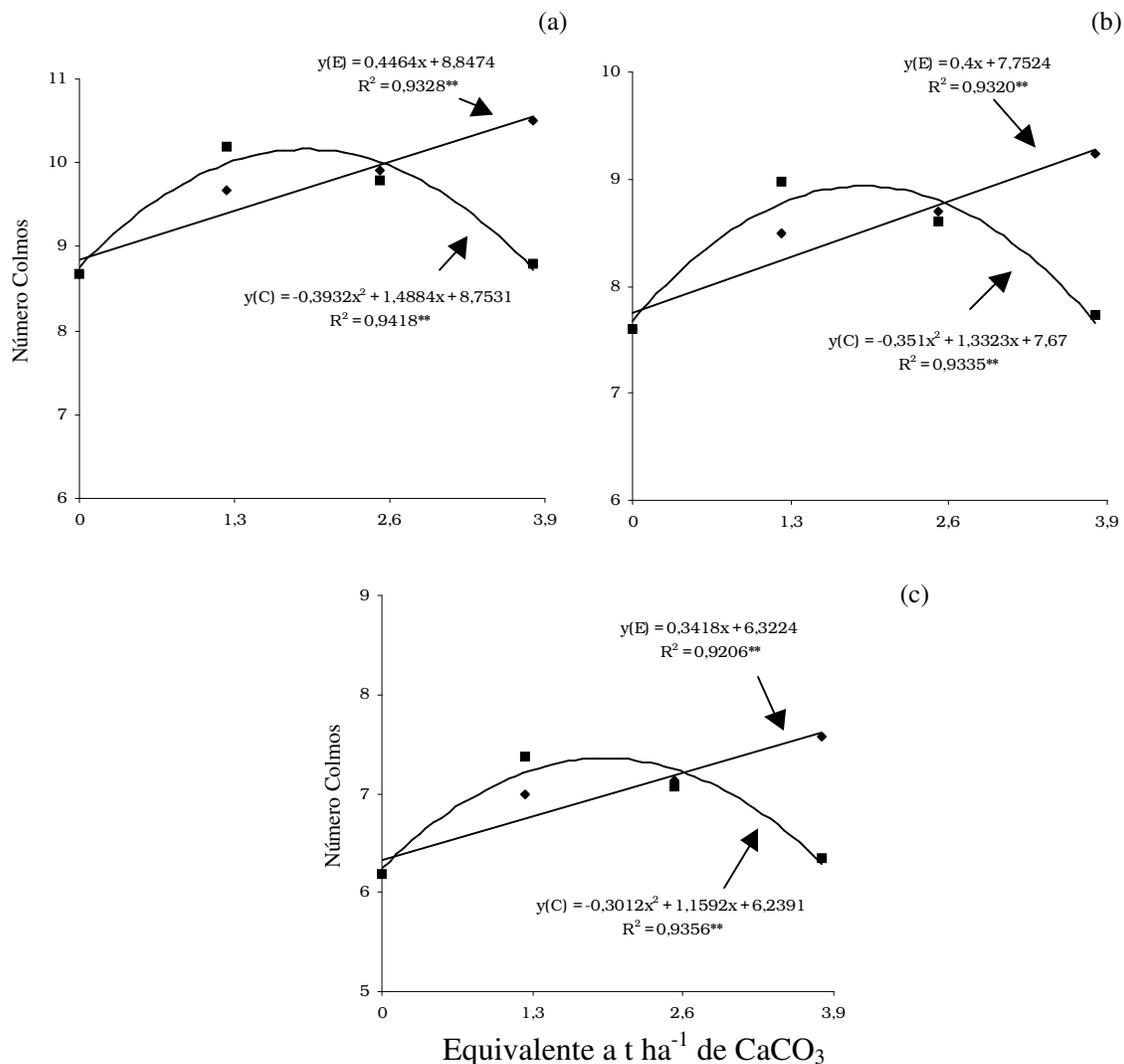


Figura 14. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), no número de colmos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar.

Comparando os corretivos dentro de cada nível de correção (Tabela 19), observa-se que, na maior dose de corretivo utilizada (equivalente a $3,8 \text{ t}$

CaCO₃ ha⁻¹), a escória apresentou maior número de colmos em relação ao calcário para os três ciclos avaliados. Nas demais doses não houve diferença significativa entre os corretivos.

Tabela 19. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de número de colmos para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

Fontes	Doses (Equivalente a t CaCO ₃ ha ⁻¹)			
	0	1,23	2,52	3,80
3º Ciclo				
Escória	8,68	9,68	9,90	10,50
Calcário	8,68	10,20	9,80	8,80
4º Ciclo				
Escória	7,60	8,50	8,70	9,23
Calcário	7,60	8,98	8,60	7,73
5º Ciclo				
Escória	6,18	6,98	7,13	7,58
Calcário	6,18	7,38	7,08	6,35

A produção de colmos (Tabela 20) foi afetada significativamente ($P < 0,01$) pelos corretivos, doses e pela interação corretivos x doses.

A escória silicatada foi superior ao calcário calcítico, quanto à produção de colmos, no 3º, 4º e 5º ciclos. Esta superioridade foi estimada em aproximadamente 6% para os três ciclos, portanto, mesmo com uma melhor resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação da escória de siderurgia, o efeito residual no solo de ambos corretivos foi semelhante. Esse resultado, provavelmente ocorreu, tendo em vista que os tratamentos que receberam calcário calcítico foram complementados com micronutrientes com o objetivo de torná-los semelhantes quanto à disponibilidade de nutrientes.

Tabela 20. Valores médios da produção de colmos ($t\ ha^{-1}$) da cana-de-açúcar e valores F, para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

FONTES (F)	3º CICLO	4º CICLO	5º CICLO
	----- $t\ há^{-1}$ -----		
Escória	63,50	55,88	45,71
Calcário	59,75	52,58	43,02
Teste F	24,61 ** ¹	24,84 **	26,29 **
DOSES (D)			
Teste F	209,23 **	210,46 **	233,95 **
F x D			
Teste F	17,03 **	17,05 **	18,37 **
CV (%)	3,5	3,5	3,4

¹ **: *; ns: significativo ($P < 0,01$); ($P < 0,05$) e não significativo ($P > 0,05$) respectivamente pelo teste F.

Avaliando os corretivos dentro de cada nível de correção (Tabela 21), observou-se efeito semelhante ao encontrado sobre o número de colmos, ou seja, apenas na maior dose de corretivo utilizada (equivalente a $3,8\ t\ CaCO_3\ ha^{-1}$) a escória silicatada apresentou maior produção de colmos que o calcário calcítico. Essa superioridade da escória silicatada pode ser explicada pelo fornecimento de silício presente no corretivo, que proporcionou um maior perfilhamento da cultura e sua fase inicial. Resultados semelhantes com relação a resposta da cana-de-açúcar ao silício foram obtidos por Raid et al. (1992) que também observaram incrementos na produção da cana-de-açúcar, atribuindo-se em parte ao efeito dos silicatos pelo fornecimento do silício

contido na escória silicatada. Outros autores relataram o efeito benéfico do silício para a produção da cana-de-açúcar (KORNDÖFER e DATNOFF, 1995 e LIMA FILHO et al. 1999).

Nota-se ainda que o efeito favorável da aplicação do calcário sobre produção de colmos de cana-de-açúcar até a dose de 2,52 t CaCO₃ ha⁻¹, foi também obtido nas pesquisas realizadas por Cordeiro (1978), Vargas (1989), Rolim et al. (1998), Rocha et al. (1998) e Martins (2000).

Observa-se também, que a resposta positiva na produção de colmos com a aplicação da escória silicatada de siderurgia foi relatada por Ayres (1966), Anderson et al. (1987) e Anderson (1991) na região de Flórida-USA.

Tabela 21. Desdobramento dos graus de liberdade de tratamento de acordo com o esquema fatorial 2x4, em relação aos valores médios de produção de colmos (t ha⁻¹) para o 3º, 4º e 5º ciclo da cana-de-açúcar.

Fontes	Doses (Equivalente a t CaCO ₃ ha ⁻¹)			
	0	1,23	2,52	3,80
3º Ciclo				
Escória	49,00	56,00	71,00	78,00
Calcário	49,00	56,00	69,00	65,00
4º Ciclo				
Escória	43,10	49,30	62,50	68,63
Calcário	43,10	49,30	60,70	57,20
5º Ciclo				
Escória	34,98	40,40	51,2	56,28
Calcário	34,98	40,40	49,8	46,90

O aumento na produção de colmos foi linear para a escória silicatada e quadrática quando se utilizou o calcário calcítico (Figura 15), este fato foi observado no 3º, 4º e 5º ciclo estudado, mostrando um efeito depressivo da utilização do calcário na maior dose de corretivo utilizada (equivalente a 3,8 t CaCO₃ ha⁻¹), concordando com os resultados obtidos por Prado et al. (2001).

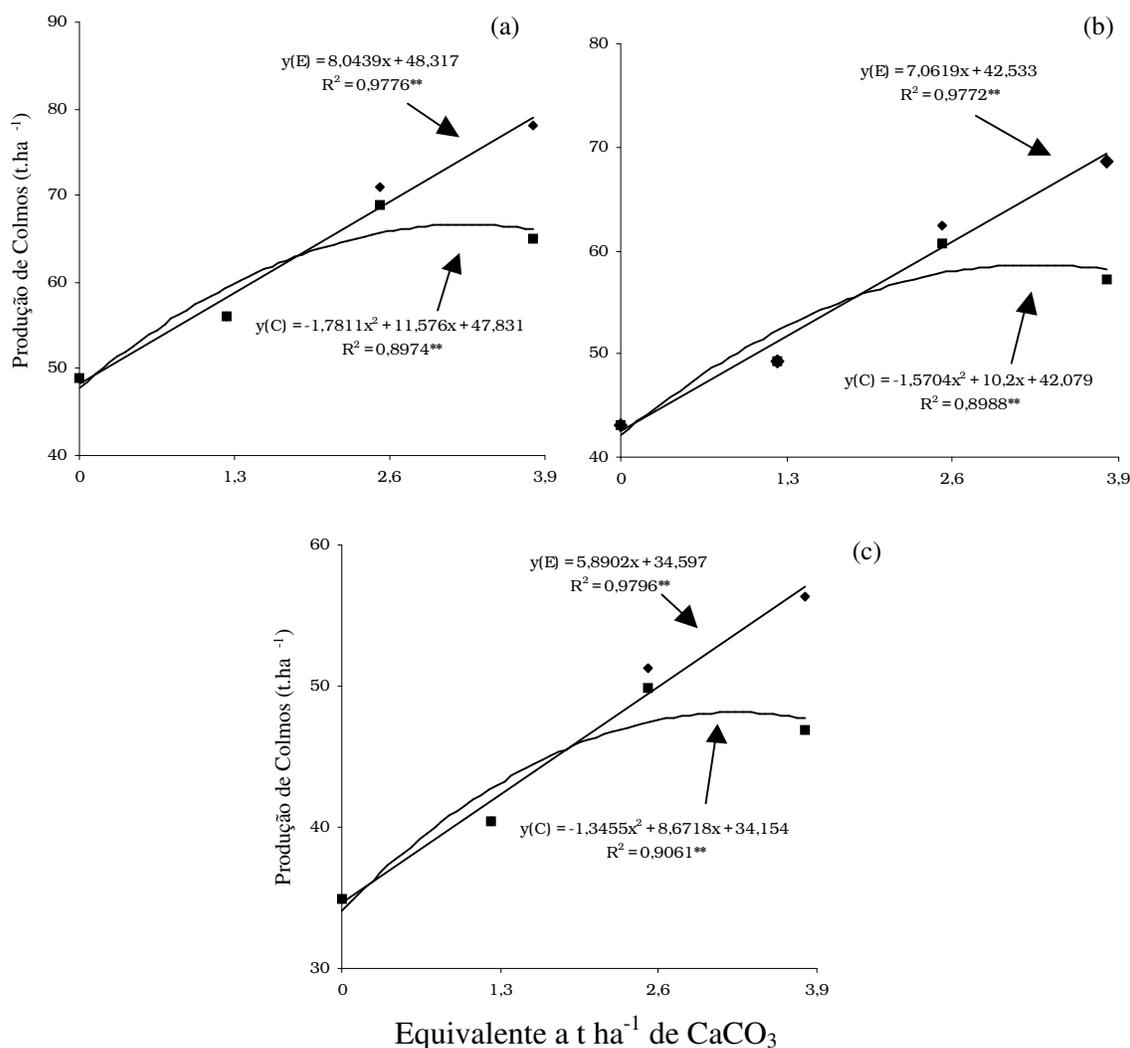


Figura 15. Efeito das doses do solo, com o calcário (C) e a escória silicatada (E), na produção de colmos da cultura da cana, para o 3^o (a), 4^o (b) e 5^o (c) ciclo da cana-de-açúcar.

Ressalta-se ainda que o efeito linear positivo pela aplicação da escória silicatada na produção de colmos é explicado pelo maior número de colmos na época da colheita, visto que o corretivo proporcionou aumento linear igual a massa unitária de colmos (Figura 13). Esta estreita relação entre o número e

a produção de colmos da cana-de-açúcar e a aplicação da escória silicatada também foi observada por Elawad et al. (1982), na Flórida-USA e por Prado e Fernandes (2001), em São Paulo, nos dois primeiros ciclos da cana-de-açúcar.

Salienta-se que o efeito residual da escória silicatada de siderurgia no aumento da produção da cana-de-açúcar é mais importante nas soqueiras, quando comparada com a cana-planta (Wong, 1971). Resultados obtidos por Anderson et al. (1991) que observaram, para média dos primeiros três ciclos, reduções de 45% e 28% na produção de colmos da soqueira nas parcelas sem e com a aplicação da escória silicatada, respectivamente.

Os dados das variáveis que avaliaram o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar no 3º, 4º e 5º ciclo, foram confrontados com a produção de colmos para verificar sua contribuição na expressão da produção e se houve diferença entre os corretivos.

A regressão polinomial realizada para calcário e escória, mostrou significância para o efeito das características de desenvolvimento da cultura sobre a produção dos colmos para os três ciclos avaliados (Figuras 16, 17, 18 e 19).

Nos três ciclos e para as variáveis: perfilhamento, altura de planta, massa unitária de colmo e número de colmos, as quais foram correlacionadas com a produção de colmos, o aumento de cada uma delas, proporcionado pela correção da acidez do solo, provocou um aumento linear na produção de colmos, quando aplicou-se escória e, quadrático, quando se utilizou o calcário.

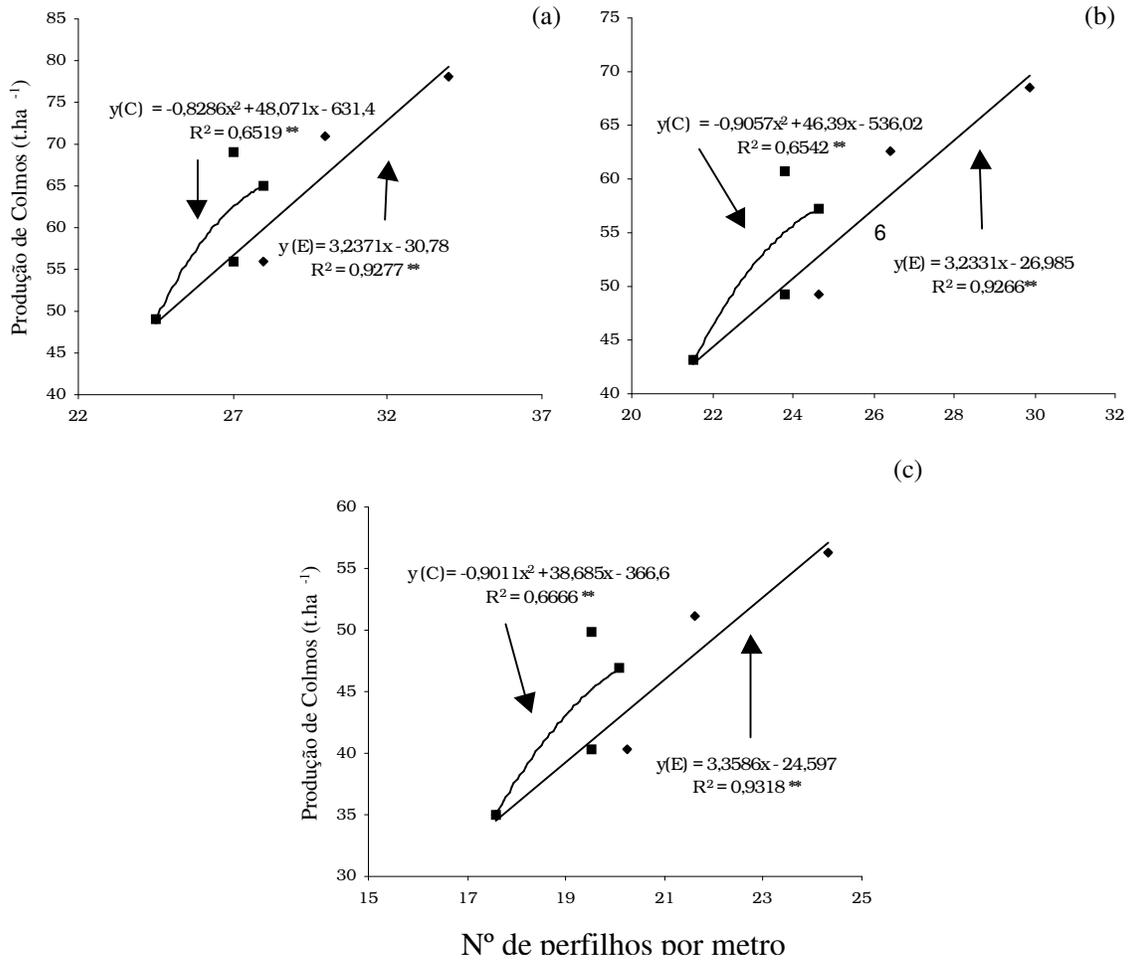


Figura 16. Efeito do número de perfilhos na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar.

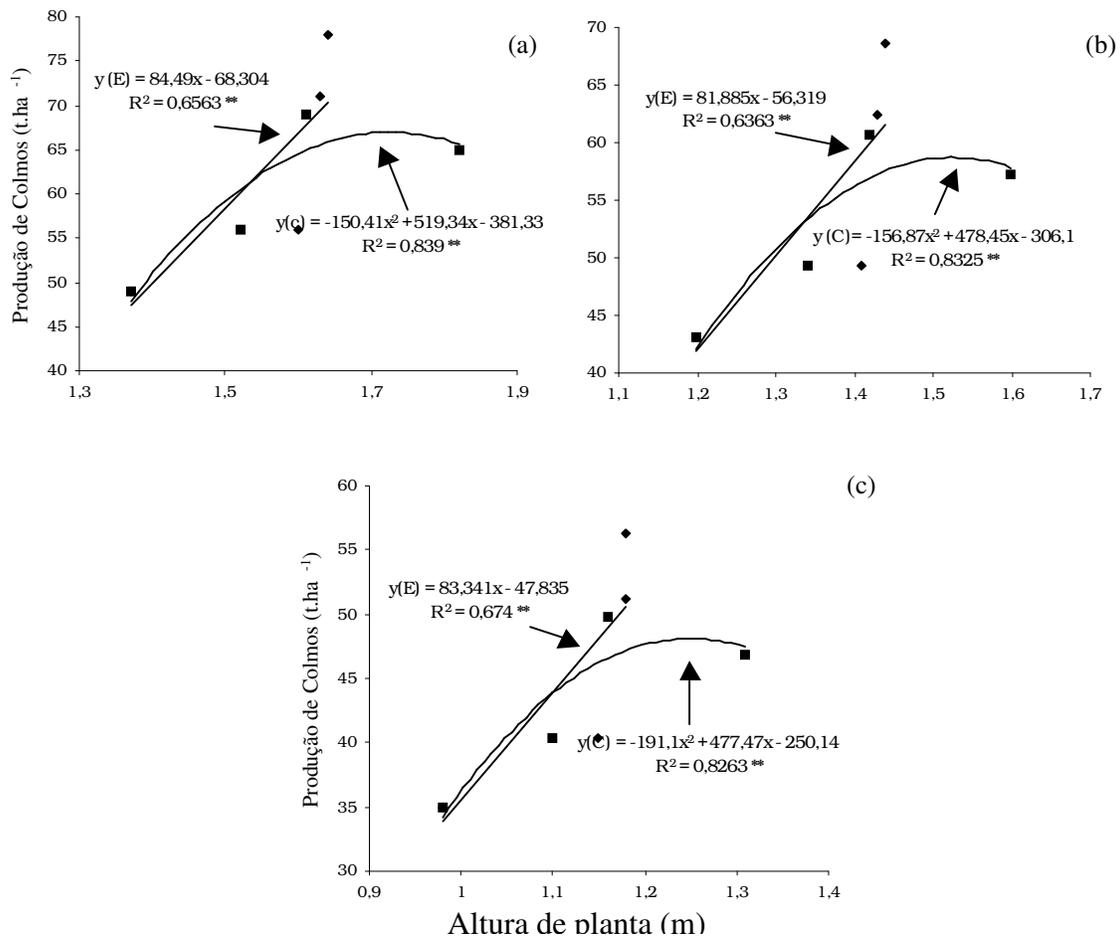


Figura 17. Efeito da altura de planta (m) na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3º (a), 4º (b) e 5º (c) ciclo da cana-de-açúcar.

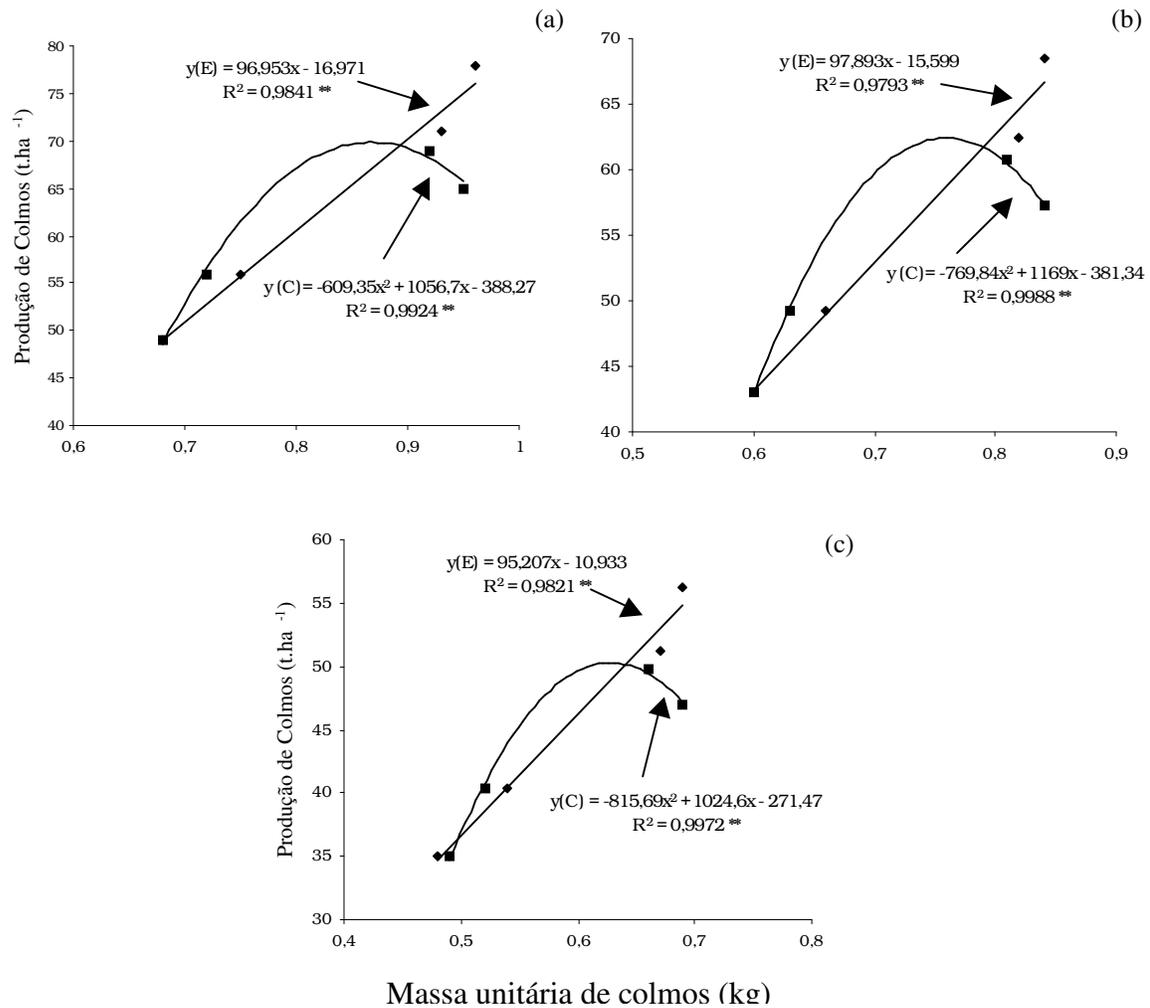


Figura 18. Efeito do massa unitária de colmos (kg) na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3^o (a), 4^o (b) e 5^o (c) ciclo da cana-de-açúcar.

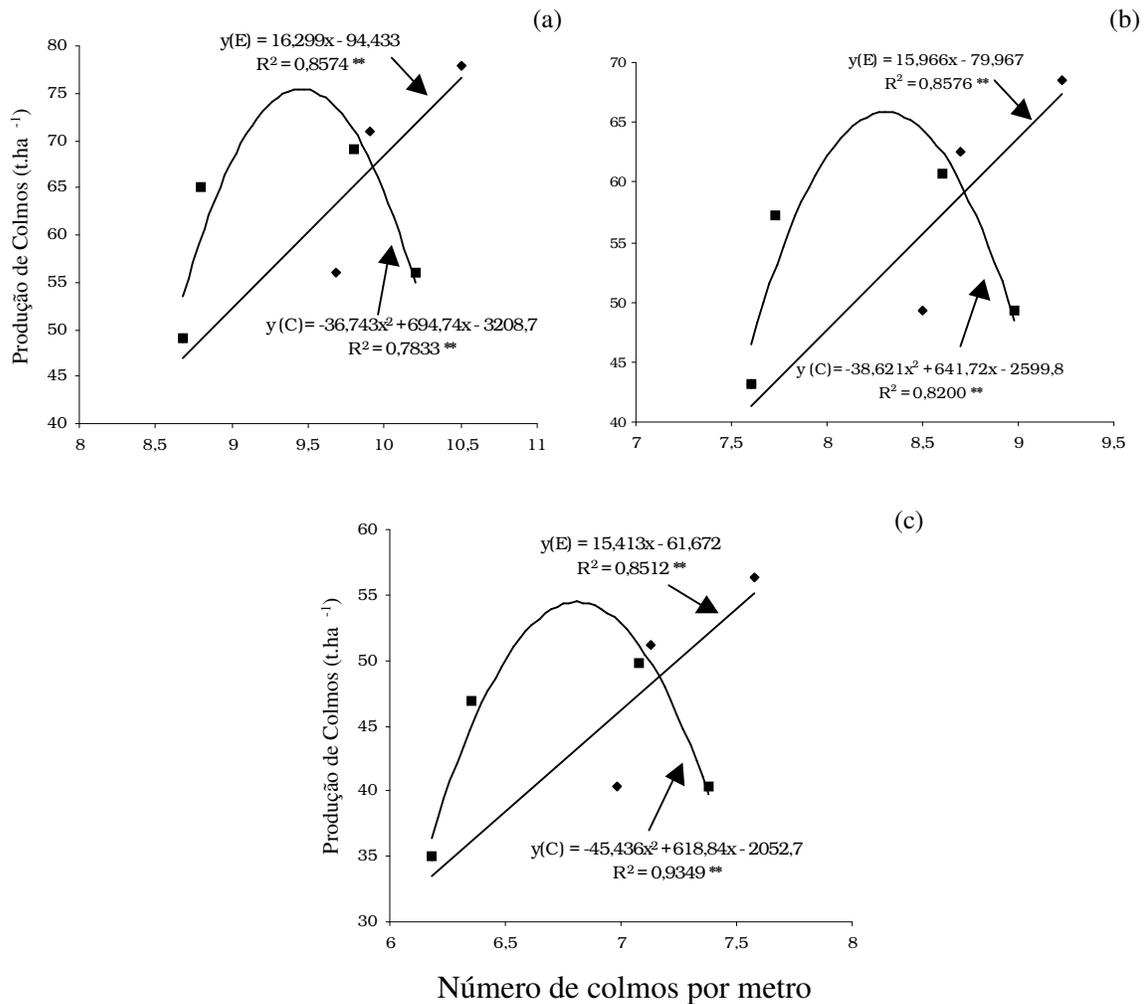


Figura 19. Efeito do número de colmos na produção de colmos (t ha⁻¹), utilizando o calcário (C) e escória silicatada (E) como corretivos, para o 3^o (a), 4^o (b) e 5^o (c) ciclo da cana-de-açúcar.

6. CONCLUSÕES

- A escória silicatada de siderurgia e o calcário calcítico foram semelhantes na correção da acidez do solo, sendo que o efeito residual de ambos corretivos foi benéfico nas propriedades químicas do solo;
- O uso da escória silicatada promoveu um efeito residual benéfico na produção da soqueira da cana-de-açúcar nos três ciclos avaliados, com efeito linear positivo;
- Houve um efeito depressivo no número de colmos e na produção de colmos, para a maior dose de calcário aplicada (equivalente a $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ de CaCO_3);
- Nas condições desse experimento, o uso da escória silicatada pode ser viável pelo seu maior efeito residual no solo, podendo com isso, obter uma maior longevidade do canavial.

7. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: ANDA, 1992. 26p. (Boletim técnico, 6).

AMARAL, A.S.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; FONTES, M.P.F. Liberação de Zn, Fe, Mn e Cd de quatro corretivos da acidez e absorção por alface em dois solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.29, p.1351-1358, 1994.

AMARAL A. Z.; VERDADE, F. C.; SCHIMIDT, N. C.; WUTKE, A. C. P.; IGUE, K. Parcelamento e intervalo da aplicação de calcário. **Bragantia**, Piracicaba, v.24, p.83-96, 1965.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; COSTA, L. M.; OLIVEIRA, C. Solubilidade de metais pesados em solo tratado com resíduo siderúrgico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.21, p.9-16, 1997.

ANDA. Brasil. Disponível em: <<http://www.anda.org.br/portug/>>. Acesso em: 16 jan. 2005.

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interations following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, The Hague, v.30, n.1, p.9-18, 1991.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of rice sugarcane rotation to calcium silicate slag on Enverglades Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.531-535, 1987.

ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on everglades histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.870-874, 1991.

ANDO, J.; OWA, N.; ASANO, M. Studies on structure, solubility, and agronomic response of industrial slag. Effects of aluminium on solubility, and agronomic response of slags. **Japanese Journal Soil Science Plant Nutrition**, Tokyo, v.59, p.27-32, 1988.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.
Anuário estatístico do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1997.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E
CORRETIVOS AGRÍCOLAS. **Anuário estatístico do setor de fertilizantes**
– 1999. São Paulo: ANDA, 1987– 2000. 156p.

AYRES, A. S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on
low silicon soils. **Soils Science**, Baltimore, v.101, p.216-227, 1966.

AZEVEDO, D. F.; SARRUGE, J. R. Alumínio na produção de matéria seca
em diferentes cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Saccharum**,
Trujillo, v.34, p.17-23, 1984.

AZIZIAN, M. F.; NELSON, P. O. Lead sorption, chemical by enhanced
desorption, and equilibrium modeling in an iron-oxide-coated sand and
synthetic groundwater system. In: JENNE, E. A. **Adsorption of metals by
geomedia: variables, mechanisms and model applications.** San Diego:
Academic Press, 1998. p.165-180.

BENEDINI, M. S. Novo conceito de uso do calcário em cana-de-açúcar. In:
REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 23, 1988,
Guarapari. **Resumos...** Guarapari: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo,
1988. p.13.

BLEVINS, R. L.; THOMAS, G. W.; CORNELIUS, P. L. Influence of no-tillage and nitrogen fertilization on certain soil properties after 5 years of continuous corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.69, p.383-386, 1977.

CAMPUS FILHO, M. P. Processos siderúrgicos. In:____. **Introdução à metalurgia extrativa e siderurgia**. Campinas: Fundação de Desenvolvimento da Unicamp, 1981. p.122-153.

CANTINI, V. L.; SOUZA L.F. Aplicações e mercado de rejeitos siderúrgicos da companhia siderúrgica nacional. In: SEMINÁRIO DE RECUPERAÇÃO DE REJEITOS DA INDÚSTRIA METALÚRGICA, 1, 1989, Volta Redonda, **Anais...** Volta Redonda: CORENE/ABM, 1989. p. 131-144.

CARVALHO, J. G. **Análise de crescimento e produção de grãos da cultura do arroz irrigado por aspersão em função da aplicação de escórias de siderurgia como fonte de sício**. Botucatu, 2000. 114f. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

CARVALHO, L. C. C. Cenário sucroalcooleiro. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.17, p.12-13, 1999.

CORDEIRO, D. A. **Efeitos da calagem e da adubação potássica sobre a produção de colmos e o equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*)**. Piracicaba, 1978, 68f. Dissertação. (Mestrado em Solos e Nutrição Mineral de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CRANE, F. H. A comparison of some effects of blast furnace slag and of limestone on acid soil. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, v.22, p.968-973, 1930.

DEFELIPO, B. V.; NOGUEIRA, A. V.; LOURES, E. G.; ALVAREZ, V. V. H. Eficiência agrônômica de um resíduo de indústria siderúrgica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.16, p.127-131, 1992.

ELAWAD, S.H.; GREEN, J.R.V.E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Il Riso**, Milano, v.28, p.235-253, 1979.

ELAWAD, S.H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.481-483, 1982a.

ELAWAD, S.H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. II. Leaf freckling and nutrient content. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p.484-487, 1982b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - Embrapa. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI, 1999. 412p.

FÁZIO, P. I.; GUTIERREZ, A. S. D. **Uso de corretivos de acidez do solo comercializados no Estado do Espírito Santo**. Vitória: Empresa capixaba de pesquisa agropecuária, 1989. 27p. (Boletim técnico 12).

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

FORTES, J. L. O. **Eficiência de duas escórias de siderurgia, do Estado do Maranhão, na correção da acidez do solo**. Viçosa, 1993, 66f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

FRANCHINI, J. C.; MALAVOLTA, E.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A. Alterações químicas em solos ácidos após a aplicação de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.23, p.533-542, 1999.

GOMES, A. G.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Comportamento de tipos de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.24, p.173-179, 1965.

GOMES, M. A. F.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M.; MOURA FILHO, W. M. Influência de ferro e alumínio amorfos do solo na reatividade de quatro corretivos de acidez. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 43, n.248, p.444-453, 1996.

JENNE, E. A. Adsorption of metals by geomeia data analysis, models, controlling factors and related issues. In:____.**Adsorption of metals by geomeia: variables, mechanisms and model applications**. Sandiego: Academic Press, 1998. p.1-73.

KATO, N.; OWA, N. Dissolution of slag in water and calcium chloride solution: Effects of solution pH and calcium concentration on solubilities of slags. **Japanese Journal Soil Science Nutrition**, Tokyo, v.67, p.626-632, 1996.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma tentativa no controle de doenças de cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.70, p.1-3, 1995.

LEITE, P.C. **Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa, 1997. 87f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.

LIMA FILHO, O. F.; LIMA, M. T. G.; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.87, p.1-7, 1999.

LOUZADA, P. T. C. **Eficiência de uma escória de siderurgia como corretivo e fertilizante do solo.** Viçosa, 1987. 52f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

MAEDA, S.; MIZOGUCHI, M.; OHKI, A. Bioaccumulation of zine and cadmium in freshwater alga, chlorella vulgaris. Part I. Toxicity and accumulation. **Chemosphere**, Oxford, v.21, p.953-963, 1990.

MALAVOLTA, E. Corretivos cálcicos, magnesianos e calco-magnesianos. In:___**Manual de química agrícola:** adubos e adubação. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981. p.232-245.

MARTINS, M. **Efeito do calcário e do gesso, em algumas características químicas do solo (Lea, Álico) e na cultura da cana-de-açúcar, em região de cerrado.** Jaboticabal, 2000. 117f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CALEGARI, A. Efeito de material vegetal na acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, p.411-416, 1993.

MIYAZAWA, M.; FRANCHINI, J. C.; VILA, F. J. G.; PAVAN, M. Rapid transformations of plants water soluble organic compounds in relation to cation mobilization in an acid Oxisol. **Plant Soil**, The Hague, v.231, p.55-63, 2001.

MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônio em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.11, n.1, p.1-6, 1987.

NATALE, W.; COUTINHO, E. L. M. Avaliação de eficiência agronômica de diferentes frações granulométricas de um calcário dolomítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 18, n.1, p.55-62, 1994.

NICKIOW, C. W.; COMAS-HAEZEBROUCK, P. H.; FEPER, W. A. Influence of varying soil lead levels on lead uptake of leafy and root vegetables. **Journal American Society Horticulture**, v.108, p.193-195, 1983.

OBIHARA, C.H.; RUSSEL, E.W. Specific adsorption of the silicate and phosphate by soils. **Journal of Soil Science**, Oxford, v.23, n.1, p.105-117, 1972.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. **Correção do solo para a cana-de-açúcar na região centro-sul do Brasil**. Piracicaba: IAA, PLANALSUCAR, COSUL, 1987. 2p.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Efeitos da calagem, do gesso e do sulfato de magnésio na produtividade da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 15, n.3, p.12-14, 1997.

ORLANDO FILHO, J.; SILVA, L. C. F.; MANOEL, L. A. Fontes de calcário aplicados em área total e sulco de plantio em cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.9, n.1-2, p.11-16, 1990.

ORLANDO FILHO, J.; ROSSETO, R.; MURAOKA, T. Efeito residual da calagem (56 meses) sobre os valores de pH, cálcio e magnésio do solo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.14, p.19-21, 1996.

PEARSON, R. W.; ABRUNA, F.; VICE-CHANCES, J. Effect of lime and nitrogen applications on downward movements of calcium and magnesium in two humid soils of Puerto Rico. **Soil Science**, Baltimore, v.93, p.77-82, 1962.

PEREIRA, J. E. **Solubilidade de alguns calcários e escórias de alto-forno**. Viçosa, 1978. 84f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa.

PEREIRA, H. S. **Avaliação do xisto e escórias na nutrição e produção do tomate e em atributos químicos e biológicos do solo**. Piracicaba, 1999. 89f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

PIAU, W. C. **Variabilidade do uso das escórias como corretivo e fertilizante**. Piracicaba, 1991. 99f. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

PIAU, W. C. **Efeitos de escórias de siderurgia em atributos químicos de solos e na cultura do milho (*Zea mays* L.)** Piracicaba, 1995. 124f. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo.

PRADO, R. M. **Resposta da Cana-de-Açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo.** Ilha Solteira, 2000. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista.

PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcário como corretivo de acidez do solo no cultivo do alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.37, n.4, p.539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo em Latossolo Vermelho – Escuro e em Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 2, p. 235-244, 1999.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Areia Quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.18, n.4, p.36-39, 2000a.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Escória e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.739-744, 2000b.

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 de Solo**, Campinas, v. 25, p.199-207, 2001.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M e NATALE, W. Efeito da escória de siderurgia em alguns atributos químicos do solo. In: **Uso agrícola da escória de siderurgia no Brasil: estudos na cultura da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: Funep, 2001. p.23-25.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M e 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**, Campinas, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, R. M.; NATALE, W; FERNANDES, F. M. Liberação de micronutrientes de uma escória de siderurgia aplicada em um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 79, n.2, p.260-274, 2004.

PRADO, H.; ROSSETO, R.; LANDELL, M. G. A. Instituto agronômico de Campinas propõe classificação de solos adaptada para a cultura da cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.16, n.3, p.13, 1998.

QUAGGIO, J. A. Reação do solo e seu controle. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1986, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1986. p.53-89.

RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar-cane. **Crop-Protection**, Guildford, v.11, n.1, p.84-88, 1992.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Ceres, 1991. 343p.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; CAMARGO, A. P.; SOARES, E. Perdas de cálcio e magnésio durante cinco anos em ensaio de calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.6, p.33-37, 1982.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico & Fundação IAC, 1996. p.39. (Boletim técnico, 100).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Uso eficiente de calcário e gesso na agricultura. In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1, 1984, Brasília. **Anais...** Brasília: Embrapa, 1984. p.323-346.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Métodos de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 31p. (Boletim técnico, 81).

RIBEIRO, A. C.; FIRME, D. J.; MATOS, A. C. M. Avaliação da eficiência de uma escória de aciaria como corretivo de acidez. **Revista Ceres**, Viçosa, v.33, p.242-248, 1986.

RIBEIRO, M. R.; HALSTEAD, E. H.; JONG, E. Rendimento da cana-de-açúcar e características das terras da microrregião da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.8, p.209-213, 1984.

ROCHA, C. H. P.; ANDRADE, L. A. B.; CORRÊA, J. B. D. Efeito da calagem no desenvolvimento inicial da cana-de-açúcar. (*Saccharum* spp.) em dois tipos de solos. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambú. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998, p.93.

ROLIM, J. C.; JANEGITZ, I.; GARMS, M. F.; VITTI, G. C.; NICOLELLA, A. C. Efeitos de corretivos da acidez e do gesso agrícola nos atributos químicos do solo e na produção de cana-de-açúcar. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. **Resumos...** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.534.

SANCHEZ, O.; CLEMENTS, H. F. Magnesium in sugarcane culture. In: CONGRESS OF THE ISSCT, 15, 1974, Durban. **Proceedings... Durban:** S.n., 1974. v.2, 56p.

SHERMAN, G. D.; DIAS, I. P. S.; MONTHEITH, N. H. Calcium silicate, a new liming material. **Farm Science**, Honolulu, v.13, p.8-9, 1964.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.33, n.1, p.1-8, 1998.

SILVA, L. C. F.; CASAGRANDE, J. C. Nutrição mineral da cana-de-açúcar (macronutrientes). In: ORLANDO FILHO, J. (Coord.). **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar**. Piracicaba: IAA; Planalsucar, 1983. p.77-99.

SILVA, L. C. F.; ORLANDO FILHO, J.; LAVORENTTI, N. A.; MANOEL, L. A. Efeitos de diferentes tipos de calcário em algumas propriedades químicas do solo. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.9, p.16-21, 1991.

SUEHISA, R. H.; YONGE, O. R.; SHERMAN, G. T. **Effects of silicates on phosphorus availability to sudan grass grow on Hawaii an soils**. Hawaii: Agricultural Experiment Station, 1963. p.40. (Technical bulletin, 51).

TAMINI, Y.N.; MATSUYAMA, D.T. The effect of calciun silicate and calciun carbonate on growth of sorghum. **Agricultural Dig**, v.25, p.37-44, 1972.

TESCARO, M.D. Eficiência do método da saturação de bases para a correção da acidez de um solo álico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23, 1998, Caxambu. **Resumos**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.103.

UDOP. Brasil. Disponível em: <<http://www.udop.com.br>>. Acesso em: 16 jan. 2005.

UNICA. Brasil. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 16 jan. 2005.

VARGAS, J. T. D. **Aplicação de calcário em duas profundidades e seus efeitos no solo e na cultura da cana-de-açúcar.** Piracicaba, 1989. 122f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

VALADARES, J. M. A. S.; BATAGLIA, O. C.; FURLANI, P. R. Estudos de materiais calcários usados como corretivo do solo no Estado de São Paulo: determinação de Mo, Cu, Co, Zn, Fe. **Bragantia**, Campinas, v.33, p.147-152, 1974.

WONG, Y. C. The residual effect of calcium silicate application of sugarcane growth. **Mauritius Sugar Ind. Res. Inst., Ann. Rep.**, v.18, p.63-68, 1971.

WUTKE, A. C. P.; GARGANTINI, H. Avaliação das possibilidades de escórias de siderurgia como corretivos de acidez do solo. **Bragantia**, Campinas, v.21, p.795-805, 1962.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)