

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL

CARLOS MAGNO RAMOS OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E NÍVEIS DE  
ÁGUA NO DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-  
AÇÚCAR**

ALEGRE  
2009

# **Livros Grátis**

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

Milhares de livros grátis para download.

CARLOS MAGNO RAMOS OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E NÍVEIS DE  
ÁGUA NO DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Orientador: Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos

ALEGRE  
2009

CARLOS MAGNO RAMOS OLIVEIRA

**APLICAÇÃO DE CORRETIVOS DA ACIDEZ DO SOLO E NÍVEIS DE  
ÁGUA NO DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DA CANA-DE-  
AÇÚCAR**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal, na área de concentração de Solos e Nutrição de Plantas.

Aprovada em 31 de março de 2009.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos  
Centro de Ciências Agrárias – UFES  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade  
Centro de Ciências Agrárias - UFES  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Otacílio José Passos Rangel  
Instituto Federal de Educação do Espírito Santo  
Campus de Alegre  
(membro externo)

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Setorial de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

O48a Oliveira, Carlos Magno Ramos, 1980-  
Aplicação de corretivos de acidez do solo e níveis de água no desenvolvimento e nutrição da cana-de-açúcar / Carlos Magno Ramos Oliveira. – 2009.  
80 f. : il.

Orientador: Renato Ribeiro Passos.  
Co-orientadores: Felipe Vaz Andrade, Edvaldo Fialho dos Reis.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias.

1. Escória. 2. Calcário. 3. Água. 4. Indicadores de níveis. 5. Cana-de-açúcar – Nutrição. 6. Solos – Acidez. I. Passos, Renato Ribeiro. II. Andrade, Felipe Vaz. III. Reis, Edvaldo Fialho dos. IV. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. V. Título.

CDU: 63

---

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por estar constantemente perto, levando-me a acreditar que tudo sempre dará certo.

Ao Prof. Dr. Renato Ribeiro Passos, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela orientação, compromisso e dedicação com que tem norteado a pesquisa na área de Solos e Nutrição de Plantas do CCA-UFES.

Ao Prof. Dr. Felipe Vaz Andrade, professor do Departamento de Produção Vegetal do CCA-UFES, pela co-orientação durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Prof. Dr. Edvaldo Fialho dos Reis, professor do Departamento de Engenharia Rural do CCA-UFES, pelos conselhos estatísticos.

Aos professores do curso de Pós-Graduação, pelo apoio durante o curso.

Aos técnicos de laboratório Silvio (Nutrição Mineral de Plantas), Marcelo e Maraboti (Química do solo), Alessandro e Luiz (LAFARSOL), José Maria (Sementes) e Sônia (Física do Solo) que, através de suas habilidades, contribuíram com as análises químicas necessárias a esta dissertação.

Aos graduandos em Agronomia, Gustavo Sturn e Rodolfo Barbosa, cujo acompanhamento diário possibilitou a manutenção das condições necessárias ao experimento.

Aos graduandos em Agronomia, bolsistas de Iniciação Científica, Danilo Andrade Santos (Capitão Lampião) e Lucas Pilon pela valorosa contribuição a este trabalho.

Aos amigos Germano, Ivoney e Natiélia pela prontidão e apoio nos momentos difíceis deste experimento.

Ao meu pai, Miguel, que me mostrando sua capacidade de trabalho motivou-me a estabelecer e alcançar metas, e à minha mãe, Dorvelina, que ao revelar-me toda a sua inteligência, mostrou-me que não há limites para o ser humano, que é possível realizar todos os sonhos.

À minha esposa, pelo apoio incondicional durante este experimento, contribuindo com compreensão, esforço e apoio para a concretização deste trabalho.

## BIOGRAFIA

Carlos Magno Ramos Oliveira, nascido em Montanha, Norte do Espírito Santo, em 27 de fevereiro de 1980. Filho de Miguel Rodrigues de Oliveira e Dorvelina de Souza Ramos de Oliveira cursou o ensino Técnico em Agropecuária na Escola Família Agrícola de Vinhático, formando-se em 1998. No segundo semestre de 1999, ingressou no curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Espírito Santo. Estagiou na empresa de consultoria Gênesis, localizada em Pinheiros-ES, dedicando-se à nutrição da cultura do mamoeiro. Em 2005, concluiu o curso de Engenharia Agrônômica. Em 2006, concluiu o curso de aperfeiçoamento em Nutrição Mineral de Plantas no Agronegócio, pela Universidade Federal de Lavras, sendo orientado em sua monografia pelo Professor Dr. Valdemar Faquin, que teve como título o uso de silício na agricultura. No mesmo ano, trabalhou na empresa Alternativa Rural, localizada em Pinheiros-ES, na área de adubação foliar de culturas como café, mamão e maracujá. Ingressou como aluno especial no Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES) no segundo semestre de 2006, tornando-se aluno regular no primeiro semestre de 2007. Lecionou as disciplinas Cadeia Agroindustrial do Café e Ciências dos Solos na Faculdade de Ciências Gerencias (FACIG) localizada em Manhuaçu, MG. Casou-se com Beatriz Valory Gama no ano de 2007, na cidade de Alegre, ES. Atuou como consultor da Visão Ambiental Consultoria Ltda, na Prestação de Serviços de assessoria e elaboração do plano de curso para o ensino Técnico em Agropecuária do Centro Estadual Integrado de Educação Rural de Águia Branca, localizada em Águia Branca. Atualmente é tutor do curso de Física na Modalidade a Distância da Universidade Federal do Espírito Santo e integrante do corpo técnico do Laboratório de Entomologia do CCA-UFES.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de corretivos da acidez do solo e níveis de água no desenvolvimento e nutrição da cana-de-açúcar. O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação. Amostras de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico foram coletadas em uma área com cobertura vegetal predominantemente de samambaia. Após coletado, o material do solo foi seco ao ar e passado em peneira de 2 mm, para caracterização química e física, sendo separadas amostras de volumes de 10 dm<sup>3</sup> e aplicados cinco níveis dos corretivos (calcário e escória de siderurgia), os quais foram estabelecidos por meio do método da elevação da saturação por bases (V), sendo: N<sub>1</sub> (testemunha, V= 21,4%), N<sub>2</sub> (V=40%); N<sub>3</sub> (V=60%); N<sub>4</sub> (V=80%); e N<sub>5</sub> (V=100%). Posteriormente, amostras de solo foram acomodadas em sacos de plástico e incubadas por 21 dias, com teor de umidade próximo de 70% da capacidade de campo. Os três níveis de água no solo utilizados no experimento foram: capacidade de campo (CC), 80%CC e 60%CC. Após 150 dias de cultivo, procedeu-se a contagem do número de perfilhos (NP), a matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da folha (MSF), matéria seca do colmo (MSC), matéria seca das raízes (MSR) e os teores dos macronutrientes (P, K, Ca e Mg) e silício (Si) na folha e colmo da cana-de-açúcar. Os resultados mostram que a escória promove maior produção de MSPA da cana-de-açúcar, em relação ao calcário, para os menores níveis de água no solo (80%CC e 60%CC). A elevação dos níveis de saturação por bases, obtida com a aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo, favorece um incremento na produção de MSPA, MSF, MSC, MSR e nos teores de P, Ca, Mg e Si na folha e no colmo da cana-de-açúcar. Os teores de Si na folha e no colmo da cana-de-açúcar são superiores na escória em relação ao calcário. A escória de siderurgia demonstra grande potencial como fonte alternativa de Ca, Mg e Si, sendo, portanto, uma opção interessante visando o aumento da produção e melhoria da nutrição mineral da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Escória de siderurgia. Silicatos. Calcário. Umidade do solo. Cana-de-açúcar.



## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of corrective of soil acidity and levels of water in the development and nutrition of sugar cane. The study was carried out in a greenhouse conditions. Soil samples were collected in a Dystrophic Red-Yellow Latosol in an area with vegetation cover of predominantly bracken. Once collected, the material of the soil was dry in the air and passed through the sieve of 2 mm for the chemical and physic characterization. The soil samples were separated in pots containing 10 dm<sup>-3</sup> being applied five levels of lime source (lime and basic slag), which was determined using base saturation method (V) where: N<sub>1</sub> (control, V= 21,4%), N<sub>2</sub> (V=40%); N<sub>3</sub> (V=60%); N<sub>4</sub> (V=80%); and N<sub>5</sub> (V=100%). Later, the soil samples were accommodated in plastic bags and incubated for 21 days, with moisture content near 70% of field capacity. The three moisture content levels were: field capacity CC, 80% CC and 60% CC. After 150 days, it was done the cut of sugar cane shoots, determining the shoots dry matter weight (MSPA), leaf dry matter weight (MSF), stem dry matter weight (MSC), root dry matter weight (MSR) and macronutrients levels (P, K, Ca and Mg) and silicon (Si) in the leaf and shoots sugar cane. According to the results, the basic slag promotes larger production of dry matter weight in the sugar cane in relation the lime for the lowest levels of the soil (80% CC and 60% CC). The increase of base saturation, obtained with the application of increasing doses of the corrective of soil acidity, favors an increase in the production of shoots dry matter weight, leaf dry matter weight, stem dry matter weight, root dry matter weight and in contents of P, Ca, Mg and Si in leaf and the stem of sugar cane. The contents of Si in leaf and stem of sugar cane are higher in the slag in relation the lime. The basic slag shows great potential as an alternative source of Ca, Mg and Si and is thus an interesting option to increase the production and improving the mineral nutrition of sugar cane.

Key words: Basic slag. Silicates. Lime. Moisture content. Sugar cane.

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0-20 cm...	28
<b>Tabela 2</b> - Caracterização química do calcário e da escória de siderurgia.....	29
<b>Tabela 3</b> - Doses dos corretivos, em $t\ ha^{-1}$ , necessárias para a elevação dos níveis de saturação por bases.....	30
<b>Tabela 4</b> - Massa final dos vasos nos diferentes níveis de água no solo.....	32
<b>Tabela 5</b> - Produção de matéria seca da parte aérea de cana-de-açúcar, em $g\ vaso^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	34
<b>Tabela 6</b> - Produção de matéria seca da folha de cana-de-açúcar, em $g\ vaso^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	37
<b>Tabela 7</b> - Produção de matéria seca do colmo da cana-de-açúcar, em $g\ vaso^{-1}$ , em função dos corretivos, para cada nível de água no solo.	39
<b>Tabela 8</b> - Produção de matéria seca de raiz de cana-de-açúcar, em $g\ vaso^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	41
<b>Tabela 9</b> - Teor de fósforo na folha da cana-de-açúcar, em $g\ kg^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	45
<b>Tabela 10</b> - Teor de fósforo no colmo da cana-de-açúcar, em $g\ kg^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	48
<b>Tabela 11</b> - Teor de Ca na folha da cana-de-açúcar, em $g\ kg^{-1}$ , em resposta à aplicação de diferentes níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.....	53

<b>Tabela 12</b> - Teor de cálcio no colmo, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de água no solo.....	55
<b>Tabela 13</b> - Teor de cálcio no colmo de cana-de-açúcar, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos níveis de água para cada saturação por bases.....	56
<b>Tabela 14</b> - Teor de magnésio na folha da cana-de-açúcar, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	58
<b>Tabela 15</b> - Teor de magnésio no colmo da cana-de-açúcar, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	61
<b>Tabela 16</b> - Teor de silício na folha da cana-de-açúcar, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	65
<b>Tabela 17</b> - Teor de silício no colmo da cana-de-açúcar, em $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo.....	69

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Área de coleta do solo, sob vegetação de samambaia .....	26
<b>Figura 2</b> - Vasos contendo material de solo incubado, com umidade próxima a 70% da capacidade de campo.....	30
<b>Figura 3</b> - Caixas de areia com toletes de cana-de-açúcar para emissão de parte aérea (a) e cana-de-açúcar plantada nos vasos (b).....	31
<b>Figura 4</b> - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	35
<b>Figura 5</b> - Produção de matéria seca das folhas (MSF) de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	38
<b>Figura 6</b> - Produção de matéria seca do colmo (MSC) da cana-de-açúcar em função dos níveis de saturação por bases, para o calcário e escória de siderurgia.....	40
<b>Figura 7</b> - Produção de matéria seca das raízes (MSR) de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	42
<b>Figura 8</b> - Teor de fósforo na folha de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	47

<b>Figura 9 -</b>	Teor de fósforo no colmo de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	50
<b>Figura 10 -</b>	Teor de cálcio na folha da cana-de-açúcar em resposta à aplicação de diferentes corretivos do solo. ....	54
<b>Figura 11 -</b>	Teor de cálcio no colmo de cana-de-açúcar em resposta à aplicação de diferentes corretivos do solo. ....	57
<b>Figura 12 -</b>	Teor de magnésio na folha de cana-de-açúcar em resposta à aplicação de diferentes corretivos do solo, para os níveis de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC).....	60
<b>Figura 13 -</b>	Teor de magnésio no colmo de cana-de-açúcar em resposta à aplicação de diferentes corretivos do solo, para os níveis de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC).....	63
<b>Figura 14 -</b>	Teor de silício na folha de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de.....	67
<b>Figura 15 -</b>	Teor de silício no colmo de cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.....	71

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
2.1 A ESCÓRIA DE SIDERURGIA .....	15
2.2 A CANA DE AÇÚCAR .....	17
2.3 NUTRIÇÃO MINERAL DA CANA-DE-AÇÚCAR.....	19
2.4 O PAPEL DO SILÍCIO NA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS AO ESTRESSE HÍDRICO.....	23
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E COLETA DO SOLO.....	26
3.2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	27
3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	33
4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA, FOLHAS, COLMOS, RAÍZES E NÚMERO DE PERFILHOS DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	33
4.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO NA FOLHA E NO COLMO DA CANA-DE-AÇÚCAR .....	44
<b>4.2.1. Fósforo (P)</b> .....	44
4.2.1.1. Teor de P na folha da cana-de-açúcar .....	44
4.2.1.2. Teor de P no colmo da cana-de-açúcar .....	48
<b>4.2.2. Potássio (K)</b> .....	51
4.2.2.1. Teor de K na folha da cana-de-açúcar .....	51
4.2.2.2. Teor de K no colmo da cana-de-açúcar .....	51
<b>4.2.3. Cálcio (Ca)</b> .....	52
4.2.3.1. Teor de Ca na folha da cana-de-açúcar.....	52
4.2.3.2. Teor de Ca no colmo da cana-de-açúcar .....	55
<b>4.2.4. Magnésio (Mg)</b> .....	57
4.2.4.1. Teor de Mg na folha da cana-de-açúcar .....	57
4.2.4.2. Teor de Mg no colmo da cana-de-açúcar.....	61
<b>4.2.5. Silício (Si)</b> .....	64
4.2.5.1. Teor de Si na folha da cana-de-açúcar .....	64
4.2.5.2. Teor de Si no colmo da cana-de-açúcar .....	68
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	72
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	73
<b>APÊNDICES</b> .....	77
<b>APÊNDICE A - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) da produção de matéria seca</b> .....	78
<b>APÊNDICE B - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) na folha da na cana-de- açúcar</b> .....	79
<b>APÊNDICE C - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) no colmo da cana-de- açúcar</b> .....	80

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma gramínea que possui atualmente muito destaque no panorama agrícola brasileiro, ocupando grandes extensões de solos agricultáveis. A importância da cana-de-açúcar no cenário agrícola nacional está relacionada à sua múltipla utilização, como na produção de álcool e açúcar, e o aproveitamento de seus subprodutos, como o bagaço, a levedura e os resíduos industriais, como a vinhaça e a torta de filtro.

A produtividade da cana-de-açúcar está relacionada a fatores ambientais, genéticos, fisiológicos e de manejo da cultura, tais como: a nutrição, a correção da acidez, a umidade do solo, etc. O ambiente de produção dessa cultura leva diferentes fatores a interagirem continuamente na planta e certamente não há um só processo limitante da produção, mas sim uma interação de fatores que condicionam sua limitação.

No estabelecimento das culturas, uma adequada correção da acidez do solo é muito importante, visto que a acidez é um dos fatores associados à baixa produtividade dos solos brasileiros. Uma das alternativas para corrigir os solos ácidos é o uso da escória de siderurgia, um resíduo da indústria do aço e ferro-gusa, constituída quimicamente de um silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ) com propriedade corretiva da acidez do solo semelhante à do calcário, além de fornecer cálcio e magnésio às culturas.

Devido à grande quantidade de resíduos produzidos anualmente, a escória se constitui um sério problema às siderúrgicas, em razão da grande extensão que ocupa nos pátios das aciarias, além dos inconvenientes ecológicos. Para cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas, é gerada, em média, 1 tonelada de escória de alto forno (COELHO, 1998). No ano de 2007, o Brasil produziu quase 36 milhões de toneladas de ferro-gusa, o que corresponde a um acúmulo, somente naquele ano, de 9 milhões de toneladas de escória nos pátios das siderúrgicas. O uso na agricultura, desta forma, surge como uma alternativa viável, objetivando reduzir possíveis impactos ao ambiente, contudo, tal utilização deve ser precedida de estudos de impacto ambiental e de viabilidade técnica.

O uso de escória de siderurgia como alternativa a correção da acidez do solo permite também, além dos benefícios provenientes da correção, o fornecimento de silício, normalmente encontrado nesses resíduos. Mesmo sabendo que as funções do silício na cana-de-açúcar ainda não foram completamente esclarecidas, a sua disponibilidade pode contribuir para o incremento da produtividade da cultura.

O efeito do silício na cana-de-açúcar pode estar relacionado à maior resistência ao acamamento e alterações na arquitetura da planta. Plantas adubadas com Si possuem as folhas mais eretas e, em consequência disso são mais eficientes quanto à capacidade de absorção da luz solar, apresentando maior taxa fotossintética.

Ressalta-se também que o silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico. Por essa razão, espera-se que plantas, em especial as gramíneas, que estejam se desenvolvendo em solos que receberam a aplicação de silicatos apresentem melhores condições de desenvolvimento, quando o teor de umidade for reduzido, em relação aos solos que não receberam aplicação de silicatos.

Nesse contexto, a realização de pesquisas com a utilização de escórias de siderurgia adquire importância, principalmente, quando se busca estudar a viabilidade de utilização desse resíduo como corretivo da acidez do solo. Estudos dessa natureza fornecem subsídios para a elaboração de critérios que padronizem o uso de escórias em solos, uma vez que esses estudos são escassos nas condições de clima e solos do Espírito Santo, onde existe um grande potencial para se utilizar as escórias em áreas agrícolas, em razão dos solos apresentarem baixa reserva de nutrientes e reação ácida.

O objetivo deste estudo foi o de avaliar o efeito da aplicação de diferentes corretivos da acidez e níveis de água no solo sobre o desenvolvimento e nutrição da cana-de-açúcar.



## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A ESCÓRIA DE SIDERURGIA

A atual geração de resíduos industriais, humanos e animais têm levado a sociedade civil e órgãos de pesquisa a buscarem formas de utilização racional desses resíduos, sendo a agricultura um dos principais destinos para o reuso destes subprodutos. Nesse sentido é importante se destacar que é crescente a produção de escória de siderurgia, devido à ampliação do parque siderúrgico, e o consequente aumento deste resíduo nos pátios das indústrias de aço e ferro.

Dentre os novos destinos conferidos aos resíduos industriais e urbanos na agricultura, destaca-se o uso como fonte de nutrientes ou corretivos da acidez do solo (CARVALHO-PUPATTO et al, 2003).

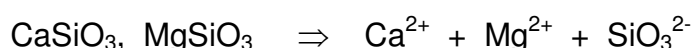
Os maiores produtores mundiais de ferro-gusa são a China (46,4% do mercado), o Japão (9,7%), a Rússia (5,9%), os EUA (4,3%), a Ucrânia (3,8%) e o Brasil (3,7%). Apesar de figurar apenas como 6º maior produtor mundial, o Brasil é o maior exportador mundial de ferro-gusa, com cerca de 40% do mercado, sendo os EUA o principal destino das exportações e também o principal importador mundial, absorvendo em torno de 69% do total exportado pelo Brasil e 33% do total comercializado globalmente. O Estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, sendo responsável por mais da metade de todo ferro-gusa e aço produzidos no Brasil (KORNDÖRFER et al., 2003). O Estado do Espírito Santo contribui com 5% do ferro-gusa produzido no Brasil.

Conforme conceitua Alcarde (1992), as escórias de siderurgia são resíduos oriundos da produção do aço e do ferro, que apresentam em sua constituição alguns elementos neutralizantes. As escórias de siderurgia são as fontes mais baratas e abundantes de silicatos, uma vez que possuem em sua composição altos teores de silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e silicato de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ). As escórias siderúrgicas são originárias do processamento em altas temperaturas, geralmente acima de 1400° C, da reação do calcário (calcítico, magnésiano ou dolomítico) com a sílica presente no minério de ferro. Em razão da sua composição química, caracterizada

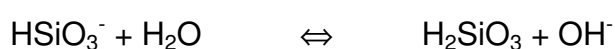
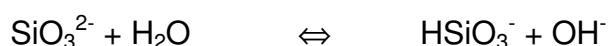
pela alta concentração de silicatos Ca e Mg, a escória vem sendo utilizada como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, principalmente em solos arenosos e com baixa fertilidade (KORNDÖRFER et al., 2003).

As escórias alteram positivamente as propriedades químicas do solo, por meio da ação neutralizante do  $\text{SiO}_3^{2-}$ , e posterior elevação do pH, dos teores de cálcio e magnésio, além da capacidade de troca de cátions e saturação por bases, e diminuição da concentração da acidez potencial dos solos (PRADO et al, 2002). De acordo com Alcarde (1992), as reações que ocorrem na escória são assim representadas:

- dissolução



- hidrólise



Essas equações mostram que a ação neutralizante da escória utiliza como base química o  $\text{SiO}_3^{2-}$  (base fraca), ficando evidente que o cálcio e magnésio não são neutralizantes, atuando na solução do solo como nutrientes para as plantas (ALCARDE, 1992).

O estudo da aplicação de escória de siderurgia na produção agrícola, no Brasil, iniciou-se em algumas culturas anuais, tais como sorgo, milho e soja. Posteriormente, em 1966, deram-se início a algumas pesquisas com o uso agrônomo da escória de siderurgia, especificamente na cana-de-açúcar (PRADO; FERNANDES, 2000).

Os trabalhos científicos realizados com as escórias têm encontrado respostas positivas quanto à eficiência agrônoma desses produtos (KORNDÖRFER et al., 2004). No entanto, ainda é preciso identificar, antes do uso, as escórias de siderurgia com maior potencial para uso agrícola. Dentre as características a serem

consideradas na escolha de uma escória para o uso agrícola pode-se citar: altos teores de Si solúvel com disponibilidade imediata; alta reatividade (poder de neutralização); baixo custo para o produtor; altos teores de óxido de cálcio (CaO) e óxido de magnésio (MgO); boas propriedades físicas (granulometria fina e alta densidade; efeito residual prolongado; além de baixos teores de metais pesados (KORNDÖRFER et al. 2003; KORNDÖRFER et al. 2004), principalmente chumbo, níquel e zinco.

De acordo com Kato e Owa (1996), citados por Prado, Fernandes e Natale (2003), o efeito residual ao qual é atribuído aos silicatos no solo, mediante uso da escória, proporciona um incremento inicial no pH e na concentração de cálcio, devido à solubilidade desse material em solução aquosa diminuir com o aumento do pH e da concentração de cálcio da solução. No entanto, esse incremento pressupõe decréscimos na dissolução da escória, devido ao equilíbrio químico que se estabelece na solução.

O mercado de insumos tem ofertado atualmente várias escórias para o uso na agricultura, com o objetivo de corrigir a acidez do solo e suprir as plantas com silício (Si), principalmente para as culturas de arroz, cana-de-açúcar e pastagens (PEREIRA et al., 2003). No entanto, o uso racional e sustentável de qualquer resíduo na agricultura deve ser precedido de estudos prévios, uma vez que os solos são meios de produção agrícola e sua contaminação pode acarretar prejuízos econômicos, ecológicos e sociais.

## 2.2 A CANA DE AÇÚCAR

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) é uma planta da Família *Gramineae* que apresenta uma larga escala de adaptação, sendo cultivada principalmente em regiões situadas entre os paralelos 35° N e 35° S. A origem mais provável da cana-de-açúcar é a Ásia, no entanto, não é conhecido com precisão o país oriental que fez a primeira extração de açúcar, provavelmente na forma de xarope (ASSIS et al, 2004).

A cana-de-açúcar é uma planta semiperene, possui uma estrutura tipo rizoma, brotando sempre que a parte aérea é cortada. Essa nova brotação, genericamente chamada de soqueira, é de grande importância econômica, uma vez que é da mesma que se retira o maior retorno econômico nos primeiros cortes (SILVA, 2005).

A cana-de-açúcar tem sido disseminada por todo território brasileiro devido ao seu fácil cultivo e ao alto potencial de produção, principalmente nas épocas secas do ano. As variações climáticas do Brasil possibilitam até duas épocas de colheitas anuais, uma de setembro a abril, nas regiões Norte-Nordeste, e a outra de junho a dezembro, na região Centro-Sul (PINTO et al, 2003).

Segundo estudo divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) e do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a cana-de-açúcar está implantada, em números atuais, em 7,8 milhões de hectares, que são reduzidos quando comparados a toda área destinada às atividades agropecuárias no país, que é de 550 milhões de hectares (CONAB/MAPA, 2008).

Em relação à safra 2006/2007, a área plantada com cana-de-açúcar aumentou 653.700 hectares, representando um incremento de 12% em relação à safra anterior. Dessa nova área, 140 mil hectares são de terras ocupadas anteriormente por grãos, como milho e soja (no total, a cana ocupou 0,4% da área total cultivada com grãos). De todo o crescimento de área plantada da última safra, 65% ocorreram em terras antes dedicadas à pecuária (pastagens). O avanço dos canaviais reduziu a área de pastagens do país em cerca de 0,2%. A maior produção foi alcançada com uma expansão de apenas 1,1% na área plantada (CONAB/MAPA, 2008). Dessa produção, a maior parte é destinada à fabricação de açúcar e álcool e pequena parte para a fabricação de aguardente e alimentação de bovinos (LEITE, 2007).

De acordo com Prado (2005), para uma produção satisfatória, a cana-de-açúcar deve ser cultivada num ambiente que propicie um solo com condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas adequadas, fruto de um manejo adequado tanto da superfície como da subsuperfície em relação ao preparo, e um efetivo controle agrônomo das práticas de calagem, adubação, controle de ervas daninhas, pragas e doenças. Outro fator também preponderante para uma boa

produção é o clima regional, destacando-se a precipitação pluviométrica, a temperatura, a radiação solar e a evaporação.

A produtividade média de cana-de-açúcar, incluindo folhas secas e ponteiros, tem oscilado em torno de 90 toneladas por hectare, mas adotando-se manejo adequado de variedades, de calagem e de adubação, podem-se alcançar produtividades superiores a 150 toneladas por hectare (OLIVEIRA et al, 2002).

Segundo Taupier (1999), tem-se demonstrado um desperdício não aproveitar a capacidade de se utilizar os vários subprodutos que a cana-de-açúcar pode oferecer. Dentre estes produtos e subprodutos, destacam-se o açúcar, o suco diluído, o bagaço, as tortas de filtro, a água do processo, os resíduos da colheita, entre outros, que podem transforma-se em mais de 100 produtos comerciais.

## 2.3 NUTRIÇÃO MINERAL DA CANA-DE-AÇÚCAR

A nutrição mineral é essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, influenciando, diretamente o aumento da produção das culturas pelo suprimento mais racional dos nutrientes.

O cultivo da cana-de-açúcar tem por finalidade a produção de massa vegetal para alimentação animal, sacarose (açúcar) e álcool etílico. Porém, embora esses dois últimos tenham apenas carbono, hidrogênio e oxigênio (provenientes do ar e da água), há uma série de outros elementos químicos que são essenciais para a planta, não só para o seu crescimento e desenvolvimento, mas também pela participação em inúmeras reações químicas intermediárias, dentro das diferentes rotas metabólicas da planta, até a produção do produto final (açúcar) de interesse econômico (FILHO, MACEDO, TOKESHI, 1994).

A cana-de-açúcar se caracteriza por apresentar grande produção de material seco, tanto na parte aérea como subterrânea, tendo o solo grande influência na concentração de nutrientes nos colmos, folhas e raízes (GOMES, 2003).

Para que os nutrientes extraídos pela cana-de-açúcar sejam convertidos em produtividade, é preciso que se estabeleçam práticas de adubação e calagem, de maneira a ter-se um equilíbrio de nutrientes na solução do solo, pois, assim, corrigem-se as deficiências nutricionais que podem levar a uma baixa produção.

Conforme destacam Prado, Fernandes e Natale (2002) são poucos os trabalhos que investigam a exigência nutricional e a exportação de macronutrientes pela cana-de-açúcar, especialmente quando se trata de variedades mais modernas. Esses mesmos autores descrevem que um dos primeiros trabalhos que buscou identificar a extração de macronutrientes foi feito por Catani e colaboradores, em 1957, com a variedade Co 419, sendo encontrado as seguintes quantidades máximas extraídas por tonelada de colmos: 1,32 kg de N; 0,21 kg de  $P_2O_5$ ; 1,31 kg de  $K_2O$ ; 0,36 kg de CaO; 0,32 kg de MgO; e 0,14 kg de S.

Além dos macro e micronutrientes, é interessante destacar que há alguns elementos que, embora não sejam considerados essenciais, apresentam-se benéficos para algumas plantas, como o sódio (Na), o cobalto (Co) e o silício (Si). Em algumas espécies de plantas, o silício pode se acumular sob a forma de sílica ( $SiO$ ) amorfa na parede celular, conferindo-lhe rigidez e elasticidade.

A utilização do silício nas adubações tem sido mais praticada nos últimos anos, principalmente após sua inclusão na legislação de fertilizantes pelo Ministério da Agricultura (BRASIL, 2004).

A cana-de-açúcar, como muitas gramíneas, é uma planta acumuladora de silício (Si). De acordo com Elawad et al. (1982), citados por Filho, Macedo, Tokeshi (1994), em condições de campo, quando as lâminas foliares contêm menos que 1,4% de Si a planta pode apresentar uma redução drástica no crescimento e sintomas típicos de deficiência nas lâminas foliares diretamente expostas aos raios solares.

No entanto, é importante destacar que, em áreas tropicais, para que os fertilizantes aplicados obtenham a eficiência desejada, torna-se preciso a correção da acidez do solo, o que tem sido feito empregando-se os calcários. Entretanto, conforme afirmam Prado e Fernandes (2000), existem materiais corretivos alternativos como a escória de siderurgia, que apresentam o ânion silicato que corrige a acidez do solo, com

ação mais rápida comparado ao calcário. Porém, também é preciso destacar que a cana-de-açúcar, apresenta certa tolerância à acidez do solo. Trabalhos recentes têm indicado um papel mais nutricional do calcário (fornecimento de cálcio, principalmente) do que corretivo.

Embora as funções do Si na cana-de-açúcar ainda não estejam totalmente elucidadas, o seu uso tem se tornado, na nutrição mineral de plantas, uma das tecnologias disponíveis utilizadas visando promover o melhor rendimento da cultura e conseqüentemente maior lucratividade ou competitividade para as agroindústrias, pois, conforme afirmam Korndörfer; Pereira e Camargo (2002), esse elemento desempenha um papel importante na produtividade da cana-de-açúcar.

Por causa da dessilicatização dos solos, manejo intensivo e monocultura, o Si é concomitantemente perdido por lixiviação, fato esse que é maior nos solos tropicais e subtropicais, o que torna baixo os teores de silício disponível às plantas desses ambientes. No entanto, as plantas cultivadas em tais solos podem se beneficiar da adubação silicatada, uma vez que este elemento pode estar limitando a produção e a sustentabilidade de algumas culturas, como a cana-de-açúcar.

De acordo com Epstein e Bloom (2006), em plantas no geral e até mesmo aquelas pertencentes a grupos restritos, como o arroz e a cana-de-açúcar, há uma grande variação quanto à absorção de silício. Em razão do acúmulo de Si na matéria seca, as plantas podem ser classificadas como acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras (Miyake e Takahashi, 1983). O arroz e a cana-de-açúcar por apresentarem grande acúmulo de Si são classificadas como plantas acumuladoras de Si. Os valores normalmente encontrados para o elemento na matéria seca vegetal oscilam entre 0,1% a 10% aproximadamente, embora possam ser encontrados valores menores ou maiores. Em algumas plantas, os teores de silício podem estar presentes em níveis na faixa dos macronutrientes.

A cultura da cana-de-açúcar possui um enorme potencial de extração de Si. Uma produção de 100 t ha<sup>-1</sup> de cana pode remover 300 kg ha<sup>-1</sup> de Si, enquanto que em determinadas situações, onde a produtividade é mais elevada essas quantidades podem chegar a 500 kg ha<sup>-1</sup>. Nessas condições o ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>)

presente na solução do solo é rapidamente absorvido pela cana-de-açúcar e os teores de Si nos solos podem diminuir progressivamente.

No Estado de São Paulo, pesquisadores encontraram 0,93 kg de Si extraídos por tonelada de colmos de cana-planta (SILVA, citado por KORNDÖRFER et al, 2002). Korndörfer; Pereira e Camargo (2002) verificaram que a cana-de-açúcar apresenta teores de Si nas folhas variável segundo a variedade. Os autores encontraram valores de 0,76; 1,04 e 1,14%, respectivamente, para as variedades RB72454, SP79-1011 e SP71-6163, não sendo observada neste estudo uma relação entre os teores foliares e a dose de Si aplicada ao solo.

Alguns trabalhos realizados com a escória de siderurgia na cultura da cana-de-açúcar verificaram a sua influência nos atributos químicos do solo, como aumento no teor de fósforo disponível (PRADO E FERNANDES, 1999), na correção da acidez do solo (PRADO, 2000) e com respostas positivas na produção de matéria seca e no perfilhamento da cana-de-açúcar (PRADO E FERNANDES, 2000).

Em experimentos com vasos realizados por Prado e Fernandes (2000), a escória de siderurgia influenciou de forma positiva a concentração de fósforo disponível no solo, sendo, no entanto, necessário ao calcário o dobro da dose no referente ao  $\text{CaCO}_3$  para expressar o mesmo efeito. Prado e Fernandes (2000), correlacionando a disponibilidade de fósforo com a produção de colmos na cana-planta, encontraram uma relação linear direta entre os dois fatores. Entretanto, de acordo com esses autores, a escória apresenta liberação mais lenta de nutrientes, quando comparada ao calcário, em solo cultivado com cana-de-açúcar em vasos.

De acordo com Prado, Fernandes e Natale (2001), em experimento em vasos em casa de vegetação, as respostas positivas à aplicação do calcário ou da escória de siderurgia mostraram a sensibilidade da cana-de-açúcar, variedade SP 80-1842, à acidez do solo, indicando, assim, a necessidade da prática da correção da acidez do solo para o incremento na produção. Os autores ressaltam ainda que, em condições de campo, essa é uma prática que requer atenção não só no ano agrícola de sua correção, mas também em anos sucessivos, isto é, em seu efeito residual, beneficiando todo o ciclo das soqueiras, com maior longevidade e com aumento do intervalo entre as reformas do canavial.



Na cana-de-açúcar, com a aplicação do silicato no plantio, observam-se respostas positivas quanto à produtividade da cana-planta e também tem se observado o aumento de produção na cana soca, comprovando o efeito residual desse produto (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002). Anderson et al. (1991), citados por Korndörfer; Pereira e Camargo (2002), ao estudarem o efeito da adubação com silicato de cálcio, verificaram uma queda na produtividade da cana soca, em relação à cana-planta, de até 45% quando não houve a adubação silicatada no plantio e de 28% quando houve a adubação na implantação da cultura (0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha<sup>-1</sup>). Esse resultado confirma o significativo efeito residual do silicato, mesmo depois de dois anos de sua aplicação.

De acordo com Korndörfer, Pereira e Camargo (2002), alguns dos fatores que estão associados à absorção do silício e que possuem influência direta na produtividade da cana-de-açúcar são: a maior resistência ao acamamento; e as folhas mais eretas e, em consequência disso, maior eficiência quanto à capacidade de absorção da luz solar e de realização de fotossíntese.

Ao ser absorvido pela cultura, o silício é rapidamente transportado para a parte aérea, onde é supersaturado e posteriormente polimerizado, tornando-se corpos amorfos de sílica (SiO<sub>2</sub>.nH<sub>2</sub>O), que por sua vez dotam de rigidez e aspereza as paredes celulares. Essas propriedades levam o silício a aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico, levando-as a possuir uma maior capacidade de tolerar a falta de água no solo (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

## 2.4 O PAPEL DO SILÍCIO NA RESISTÊNCIA DAS PLANTAS AO ESTRESSE HÍDRICO

Mesmo não sendo essencial do ponto de vista fisiológico, o silício em numerosos casos tem demonstrado efeitos benéficos quanto ao crescimento e desenvolvimento de várias culturas, com destaque para as gramíneas. Dentre os principais mecanismos que são conferidos ao silício como protetor das plantas a fatores

estressantes destaca-se seu acúmulo abaixo da cutícula, a qual oferece resistência mecânica contra organismos patogênicos e pragas, além de amenizar os efeitos do estresse hídrico (PEREIRA; VITTI; KORNDORFER, 2003) e melhorando o aproveitamento da irrigação (CARVALHO-PUPATTO et al., 2003). Assim, conforme destaca Pulz et al. (2008), o uso da escória de siderurgia, além da finalidade de corrigir a acidez do solo e fornecer cálcio e magnésio, também disponibiliza silício às culturas, contribuindo, assim, para conferir tolerância à deficiência hídrica.

De acordo com Pereira (2007), o silício torna os tecidos foliares mais rígidos, conseqüentemente mais resistentes ao ataque de pragas e doenças, além de reduzir o acamamento e a perda de água. A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração, por sua vez, provoca a formação de uma dupla camada de sílica cutilar, ao qual pela redução da transpiração, conduz a uma menor exigência de água pela planta. Além disso, segundo Pulz et al. (2000), o efeito benéfico do Si tem sido associado ao aumento da capacidade de defesa antioxidante e à manutenção da taxa fotossintética, da condutância estomática da planta, mesmo em solo com baixo teor de umidade, devido à redução da transpiração através da cutícula.

De acordo com Carvalho et al. (2003), a deposição do silício nas raízes relaciona-se diretamente à necessidade hídrica das plantas, independentemente do vegetal estudado, conferindo vigor aos tecidos durante os períodos secos. Por sua vez, Prado e Fernandes (2000) atribuem a resistência das plantas ao estresse hídrico nas culturas do arroz e do pepino à prevenção do progresso da senescência foliar devido à manutenção da fotossíntese e proteção da clorofila, ao qual tem sido atribuído ao silício, especialmente em condições de altas temperaturas e baixa umidade.

O silício pode estar associado ainda, de acordo com Agarie et al. (1998), citados por Prado e Fernandes (2000), à estabilidade térmica dos lipídeos nas membranas celulares em condições de estresse ambiental, agindo de forma preventiva na destruição das estruturas e funções das membranas celulares em arroz, promovendo assim a prevenção do processo de envelhecimento da folha.

Estudando a influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico no solo, Faria (2000) concluiu que quanto maior o teor de Si na planta de arroz, maior a capacidade desta cultura em tolerar a falta de água no solo.

Considerando todo o exposto, fica claro o papel do Si como elemento útil para a cultura da cana-de-açúcar. Assim, estudos que avaliam a aplicação de escórias de siderurgia em solo têm grande relevância, dada à importância do elemento para a planta e da necessidade de se encontrar uma utilização racional para um subproduto industrial.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL E COLETA DO SOLO

O município de Alegre está situado a 20°45'48" de latitude Sul e 41°31'57" de longitude Oeste, com altitude de 150 metros. O clima predominante é quente e úmido no verão e seco no inverno, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23°C, sendo as máximas diárias de 29°C e mínimas de 20°C.

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa coletado na profundidade de 0 – 20 cm na Fazenda Querência, localizada no Distrito do Café, município de Alegre, Estado do Espírito Santo. A área encontra-se em relevo forte ondulado, estando em descanso há aproximadamente 10 anos, com cobertura vegetal predominantemente de samambaia (Figura 1).



**Figura 1** - Área de coleta do solo, sob vegetação de samambaia.

### 3. 2 INSTALAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Após coletado, o material de solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm, sendo separada uma amostra representativa para a caracterização química e física. (Tabela 1).

O experimento foi montado num esquema fatorial 2 x 3 x 5 sendo dois corretivos (calcário e escória), três níveis de água no solo (CC, 80%CC e 60%CC) e cinco níveis dos corretivos: N<sub>1</sub> (saturação por bases = 21,4%), N<sub>2</sub> (saturação por bases = 40%), N<sub>3</sub> (saturação por bases = 60%), N<sub>4</sub> (saturação por bases = 80%) e N<sub>5</sub> (saturação por bases = 100%), num delineamento em blocos casualizados, com três repetições.

Os materiais utilizados como corretivos da acidez do solo foram o calcário magnesiano e a escória de siderurgia da RECMIX (Agrosilício). Amostras de calcário foram enviadas ao Laboratório de Análises de Fertilizantes, Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas (LAFARSOL) para análises químicas. A caracterização química da escória de siderurgia foi feita no Laboratório de Análises de Fertilizantes (LAFER), do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia, cujos resultados se encontram na Tabela 2.

**Tabela 1** - Atributos físicos e químicos do solo na profundidade de 0-20 cm

Areia Grossa (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	397,60
Areia Fina (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	154,40
Silte (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	40,00
Argila (g kg <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	408,00
Densidade do solo (kg dm <sup>-3</sup> ) <sup>2</sup>	1,05
pH em água	4,3
P (mg dm <sup>-3</sup> )	2,0
K (mg dm <sup>-3</sup> )	51,0
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	1,4
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,7
Si (mg dm <sup>-3</sup> )	8,2
Na (mg dm <sup>-3</sup> )	4,0
Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	0,7
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	8,3
Soma de bases (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,27
CTC potencial (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	10,6
CTC efetiva (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )	2,97
Saturação por bases (%)	21,4
Saturação por alumínio (%)	23,6
Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )	35,3

<sup>1</sup>.Método da Pipeta (Agitação Lenta); <sup>2</sup>Método da Proveta; Métodos de extração: pH em água (relação 1:2,5); potássio trocável por fotometria de chama, após extração com extrator Mehlich-1; cálcio e magnésio trocáveis por extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e determinação por titulometria; alumínio trocável por extração com cloreto de potássio 1 mol L<sup>-1</sup> e titulação; acidez potencial por extração com acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup>, pH 7,0 e titulação; fósforo por colorimetria, após extração com extrator Mehlich-1; matéria orgânica por oxidação, via úmida, com dicromato de potássio em meio sulfúrico (EMBRAPA, 1997); e silício por extração com ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> (Korndörfer et al., 1999).

**Tabela 2** - Caracterização química do calcário e da escória de siderurgia

<b>Parâmetro</b>	<b>Calcário</b>	<b>Escória</b>
CaO (%)	44,0	37,0
MgO (%)	8,8	12,6
SiO <sub>2</sub> (%)	—	21,3
Poder de neutralização (%) <sup>1</sup>	100	97,48
Eficiência relativa (%) <sup>2</sup>	100	99,60
PRNT (%) <sup>3</sup>	100	97,08

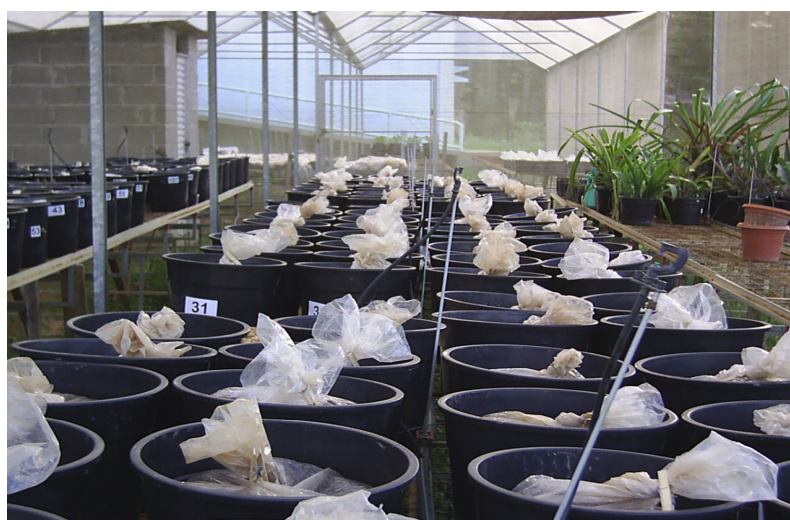
1. Poder de neutralização (PN):  $\%CaO \times 1,79 + \%MgO \times 2,48$ ; 2. Eficiência relativa (ER):  $[(A \times 0,0) + (B \times 0,2) + (C \times 0,6) + (D \times 1,0)]/100$ , sendo A, B, C = % de corretivo que fica retido, respectivamente, nas peneiras nº 10, 20 e 50, e D = % de corretivo que passa na peneira nº 50; e 3. PRNT = PN x ER / 100.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal (PPGPV), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo (CCA-UFES).

Após a caracterização química e física do solo, foram separadas amostras de volumes de 10 dm<sup>3</sup> e aplicados os corretivos (calcário e escória de siderurgia), em cinco diferentes níveis, os quais foram devidamente homogeneizados. Os níveis dos corretivos, estabelecidos por meio do método da elevação da saturação por bases (Prezotti et al., 2007) foram: N<sub>1</sub> (testemunha, saturação por bases = 21,4%), N<sub>2</sub> (saturação por bases = 40%); N<sub>3</sub> (saturação por bases = 60%); N<sub>4</sub> (saturação por bases = 80%); e N<sub>5</sub> (saturação por bases = 100%) (Tabela 3). Posteriormente, o material de solo foi acondicionado em sacos plásticos e incubado por 21 dias, com umidade próxima a 70% da capacidade de campo (Figura 2). Durante o período de incubação, os sacos plásticos eram abertos durante 2 horas à noite.

**Tabela 3** - Doses dos corretivos, em  $t\ ha^{-1}$ , necessárias para a elevação dos níveis de saturação por bases

Corretivos	Saturação por bases (%)				
	21,4	40	60	80	100
Calcário	0,00	2,07	4,30	6,52	8,43
Escória	0,00	2,13	4,39	6,77	9,01

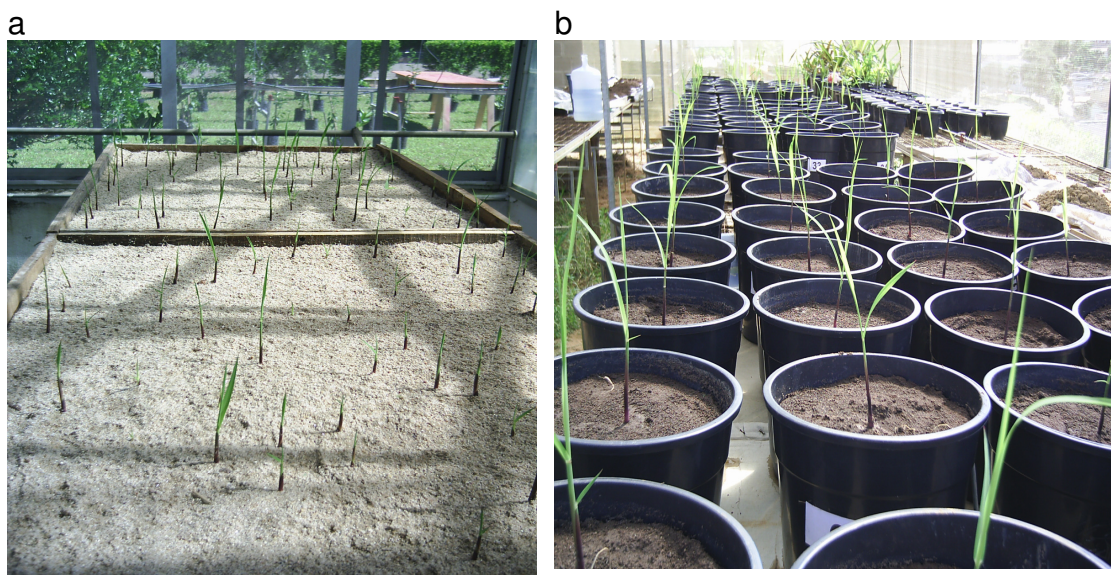


**Figura 2** - Vasos contendo material de solo incubado, com umidade próxima a 70% da capacidade de campo.

A determinação da umidade do solo à capacidade de campo (0,01 MPa) foi realizada por meio de extrator de Richards, conforme EMBRAPA (1997), no Laboratório de Análises de Fertilizantes, Águas, Minérios, Resíduos, Solos e Plantas (LAFARSOL) do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo localizado no Núcleo de Estudo e Difusão de Tecnologia (NEDTEC) no Município de Jerônimo Monteiro-ES.

Paralelamente ao período de incubação, cultivou-se a cana-de-açúcar, variedade IAC 86-2480, em caixas de areia, deixando-se uma gema por tolete de cana-de-açúcar. Decorrido o período de incubação (21 dias), o material de solo foi colocado nos vasos e efetuado o plantio da cana forrageira, sendo uma unidade de planta por vaso (Figura 3).





**Figura 3** - Caixas de areia com toletes de cana-de-açúcar para emissão de parte aérea (a) e cana-de-açúcar plantada nos vasos (b).

A adubação de plantio consistiu da aplicação de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de fósforo e  $250 \text{ mg dm}^{-3}$  de potássio, na forma de fosfato de potássio monobásico P.A., via água de irrigação. A adubação nitrogenada foi feita com sulfato de amônia P.A., na dose de  $200 \text{ mg dm}^{-3}$  de nitrogênio dividida em cinco aplicações, aos 7, 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio. O controle de plantas daninhas foi realizado mecanicamente.

Os três níveis de água no solo utilizados no experimento foram: CC (umidade do solo de  $282 \text{ g kg}^{-1}$ , correspondente à capacidade de campo); 80%CC (umidade do solo de  $226 \text{ g kg}^{-1}$ , correspondente a 80% da capacidade de campo); e 60%CC (umidade do solo de  $169 \text{ g kg}^{-1}$ , correspondente a 60% da capacidade de campo). Para manter o peso constante, foram realizadas duas pesagens diárias dos vasos, usando-se água destilada para irrigação, até atingir a massa desejada (massa final) para cada nível de água no solo (Tabela 4).

Após 150 dias de cultivo, procedeu-se a contagem do número de perfilhos (NP) e o corte da parte aérea da cana-de-açúcar, separando-se o colmo das folhas, acondicionando-se as partes individuais em sacolas de papel devidamente identificadas e levadas à estufa de circulação forçada de ar à temperatura de  $65^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas para a determinação da matéria seca das folhas (MSF) e da

matéria seca do colmo (MSC) da cana-de-açúcar. A partir da soma da MSF e da MSC, obteve-se a matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar.

**Tabela 4** - Valores de massa da água, massa do vaso, umidade residual do solo, massa média da muda de cana-de-açúcar, massa do solo e massa final dos vasos para os diferentes níveis de água no solo

Níveis de água	Massa da água (g)	Massa do vaso (g)	Umidade residual (g)	Massa média da muda (g)	Massa do solo (g)	Massa final (g)
CC	2921	442	170	100	10500	14133
80%CC	2339	442	170	100	10500	13551
60%CC	1753	442	170	100	10500	12965

As raízes foram removidas dos vasos, lavadas, secas à sombra e acondicionadas em sacos de papel, devidamente identificados e colocados em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 65°C durante 72 horas para a determinação da matéria seca de raízes (MSR).

O material seco da parte aérea (folha e colmos) da cana-de-açúcar foi triturado em moinho Wiley, provido de peneira de aço inoxidável com malhas de 0,42 mm e acondicionado em sacos de papel devidamente identificados para análises químicas dos teores de macronutrientes (P, K, Ca e Mg), conforme Silva (1999), sendo os teores de silício (Si) na folha e nos colmos da cana-de-açúcar determinados por metodologia proposta por Korndörfer (2004).

### 3. 3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o Software SISVAR (Ferreira, 2000) e quando significativos foi utilizado o teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para os fatores qualitativos e a análise de regressão para os fatores quantitativos. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t de Student ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA DA PARTE AÉREA, FOLHAS, COLMOS, RAÍZES E NÚMERO DE PERFILHOS DA CANA-DE-AÇÚCAR

Para a produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar, que engloba a soma da produção de matéria seca das folhas e dos colmos, verifica-se que houve efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

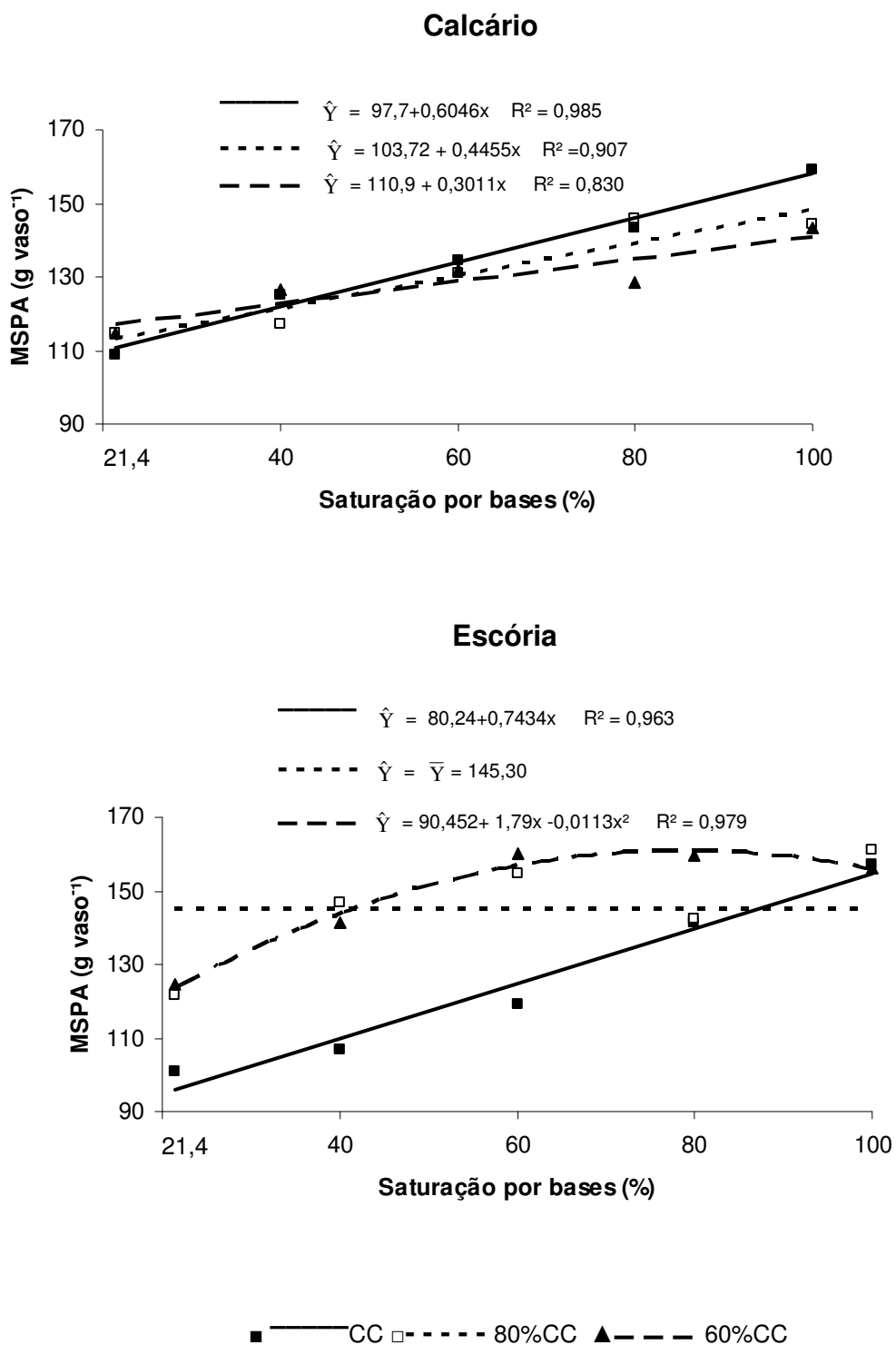
De acordo com a Tabela 5, verifica-se que, no nível de água no solo da capacidade de campo, o corretivo calcário proporciona maior produção de MSPA nos níveis de saturação por bases de 40% e 60%. Entretanto, para o nível de água no solo de 80%CC, o corretivo escória proporciona maior produção de MSPA para os níveis de saturação por bases de 40%, 60% e 100%, enquanto que no menor nível de água no solo (60%CC), à exceção da testemunha (saturação por bases de 21,4%), o corretivo escória proporciona maior produção de MSPA em relação ao calcário para todos os níveis de saturação por bases. Os maiores efeitos da escória sobre a produção de MSPA, quando se utilizaram menores níveis de água no solo, podem estar relacionados ao fato do silício contido na escória promover uma maior resistência da planta a perder água, maximizando o seu uso via fotossíntese, o que acaba por gerar uma maior produção de matéria seca (PRADO e FERNANDES, 2000). Doorembos e Kassam (1979), citados por Farias et al (2008), afirmam que a melhor eficiência de uso da água na cultura da cana-de-açúcar cultivada nos trópicos e subtropicais secos, com irrigação, estão em solos com 80% de água disponível. De acordo com Marques e Silva (2008), fatores como o uso de diferentes corretivos, níveis de umidade do solo e saturações por base afetam diretamente na produção e maturação da cana-de-açúcar, fato esse que se reflete na sua produção de matéria seca total.

**Tabela 5** - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar, em g vaso<sup>-1</sup>, em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	101,02a	124,94a	134,57a	143,51a	159,05a
	Escória	108,64a	106,90b	119,05b	141,36a	156,92a
80%CC	Calcário	114,66a	117,16b	131,03b	145,77a	144,22b
	Escória	121,52a	146,65a	154,85a	142,38a	161,07a
60%CC	Calcário	144,86a	126,30b	131,96b	128,66b	143,45b
	Escória	124,39a	141,26a	160,07a	159,46a	156,22a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se, na Figura 4, que com o corretivo calcário, a produção de MSPA é linear até a saturação por bases (V) de 100%, nos três níveis de água no solo estudado. Quando utilizado o corretivo escória, a produção de MSPA na capacidade de campo é linear até V=100%. No nível de água de 80%CC não é verificada diferença entre as médias observadas, não sendo possível a obtenção de modelos de regressão com coeficientes significativos. No menor nível de água no solo (60%CC), a produção de MSPA apresenta um comportamento quadrático. A melhoria das condições químicas do solo, pela aplicação de doses crescentes dos corretivos, aumentando os valores de pH, Ca, Mg e CTC do solo e reduzindo os teores de Al tóxico às plantas pode ter contribuído para esse comportamento. Prado, Fernandes e Natale (2001), avaliando comparativamente o efeito da escória de siderurgia de alto forno e do calcário em doses equivalentes de CaCO<sub>3</sub> em cana-de-açúcar, verificaram que ambos corretivos foram semelhantes em termos de produção de MSPA. Fortes et al. (2006), utilizando silicato de cálcio e magnésio, observaram aumento linear da produção de matéria seca da parte aérea de gramíneas forrageiras em função do incremento dos níveis de saturação por bases do solo. Já Carvalho-Pupatto et al. (2003), estudando o efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz, observaram resposta quadrática à aplicação de escória, em relação à matéria seca da parte aérea.



**Figura 4** - Produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

Para a produção de matéria seca das folhas (MSF) da cana-de-açúcar, verifica-se que, semelhantemente ao observado para a MSPA da cana-de-açúcar, há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

De acordo com a Tabela 6, nota-se que, no nível de água à capacidade de campo, há diferença significativa para a produção de MSF da cana-de-açúcar apenas nos níveis de saturação por bases de 40% e 60% na comparação entre os corretivos calcário e escória, sendo que a escória apresenta menores valores de MSF. No nível de água de 80%CC, as saturações por bases de 40%, 80% e 100% originaram diferenças significativas entre os corretivos calcário e escória para os valores de MSF, sendo que para os níveis de saturação por bases de 40% e 100%, a escória promove uma maior produção de MSF, enquanto na saturação por bases de 80%, a maior produção de MSF é obtida com o calcário. No menor nível de água no solo (60%CC), a escória promove maior produção de MSF da cana-de-açúcar nos níveis de saturação por bases de 40%, 60% e 80%, não diferindo do calcário nos níveis de saturação por bases de 21,4% e 100%.

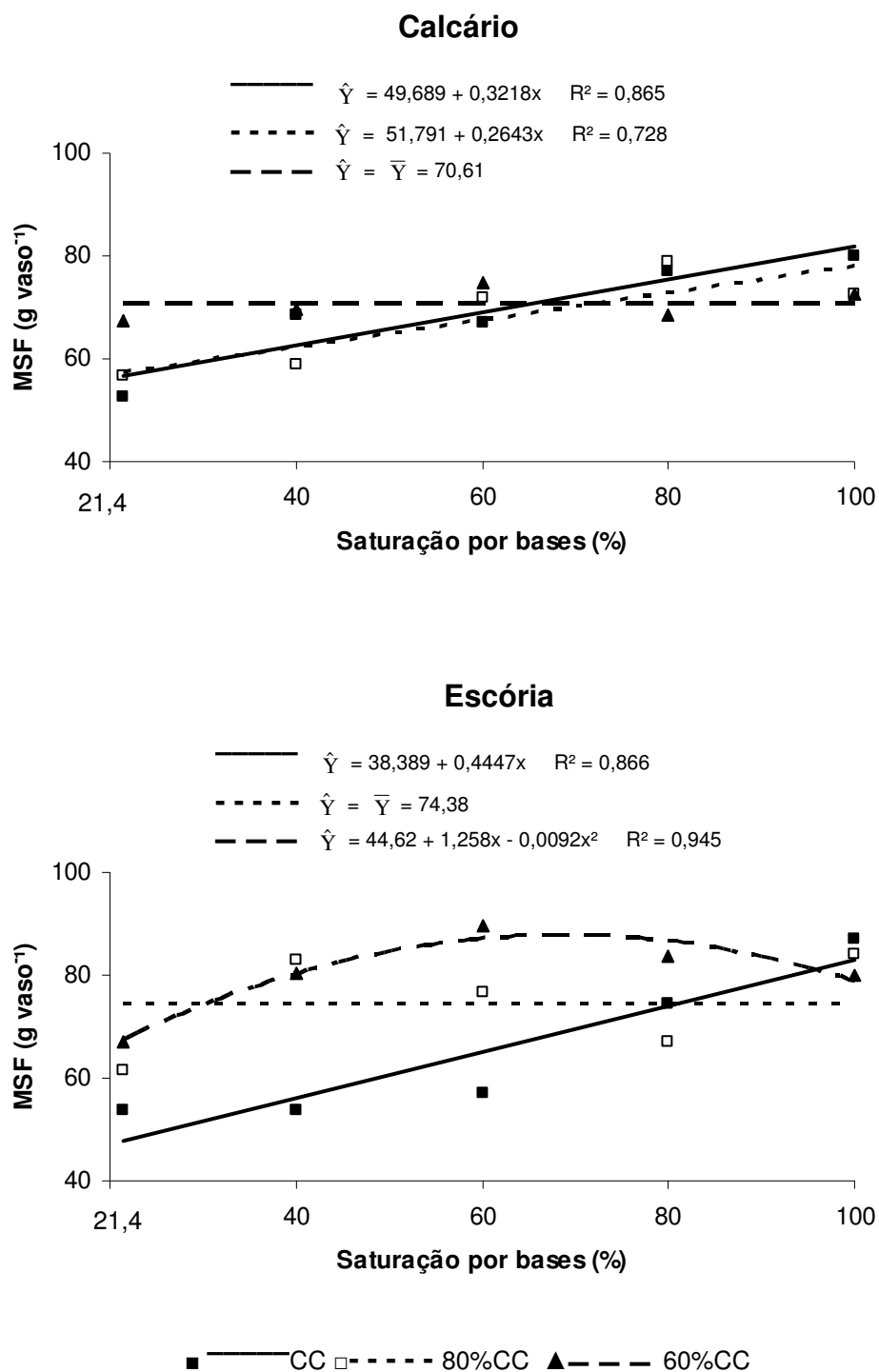
Conforme já comentado anteriormente, a presença de silício na escória pode atuar positivamente na redução da perda de água pelas plantas, favorecendo assim uma produção de matéria seca. Segundo Prado e Fernandes (2000), o uso da escória de siderurgia na cana-de-açúcar potencializa a taxa de fotossíntese dessas plantas por viabilizar uma maior duração das folhas, em detrimento de sua senescência, o que aumenta por consequência o incremento da matéria seca de toda a planta. Faria (2000) verificou que quanto maior o teor de Si em plantas de arroz de sequeiro, maior a capacidade das plantas em tolerar a falta de água no solo. Entretanto, Melo et al. (2003) não observaram efeito significativo do silício na tolerância de gramíneas do gênero *Brachiaria* ao déficit hídrico, bem como não afetou a produção de matéria seca.

**Tabela 6** - Produção de matéria seca das folhas da cana-de-açúcar, em g vaso<sup>-1</sup>, em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	52,50a	68,57a	67,08a	77,18a	80,07a
	Escória	53,26a	53,87b	57,13b	74,31a	87,05a
80%CC	Calcário	56,58a	58,70b	71,78a	79,05a	72,49b
	Escória	61,41a	82,91a	76,77a	66,90b	83,93a
60%CC	Calcário	67,37a	69,77b	74,90b	68,46b	72,56a
	Escória	67,00a	80,23a	89,46a	83,78a	80,01a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

A produção de MSF da cana-de-açúcar, com calcário na capacidade de campo e 80%CC, apresenta comportamento linear, com um incremento até  $V=100\%$ . No nível de água no solo de 60%CC não há ajuste de modelos de regressão com coeficientes estatisticamente significativos. Contudo, utilizando-se escória de siderurgia, há um aumento linear da produção de MSF com o incremento dos valores de  $V$  no nível de água do solo na capacidade de campo. No nível de 80%CC, não há ajuste de modelos de regressão com coeficientes estatisticamente significativos. Para 60% da CC, o melhor ajuste obtido é o quadrático, com um incremento inicial e posterior redução da produção de MSF com o aumento dos valores de  $V$  (Figura 5). Considerando que a saturação por bases ideal da cultura da cana-de-açúcar é de 60%, de acordo com o Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo, 5ª aproximação (PREZOTTI et al., 2007), esperava-se, independentemente do corretivo utilizado e do nível de água no solo, incrementos de produção de MSF com o aumento dos valores de  $V$  até 60%. Entretanto, verifica-se, neste trabalho, que somente quando se utilizou a escória no menor nível de umidade do solo (60%CC), este comportamento foi observado.



**Figura 5** - Produção de matéria seca das folhas (MSF) da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.



Com relação à produção de matéria seca do colmo (MSC) da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação entre corretivos e níveis de água no solo e para a interação entre corretivos e níveis de saturação por bases.

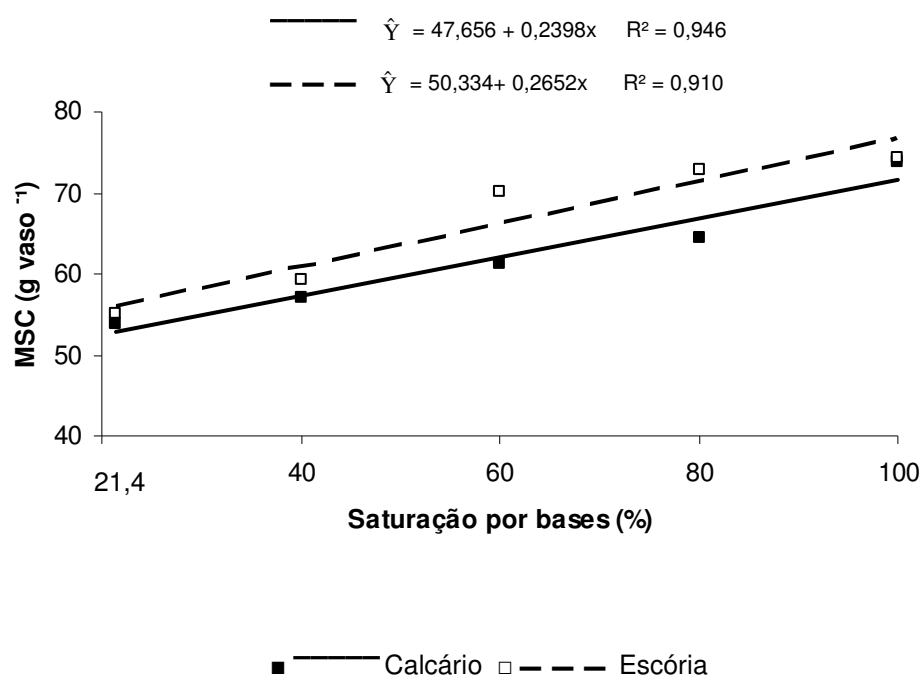
Na Tabela 7, nota-se que, nos níveis de água no solo estudado há diferença significativa entre os corretivos, apresentando a escória os maiores valores de MSC nos três níveis de água estudados, demonstrando a potencialidade da utilização desse corretivo do solo para a cultura de cana-de-açúcar.

**Tabela 7** - Produção de matéria seca do colmo da cana-de-açúcar, em  $\text{g vaso}^{-1}$ , em função dos corretivos, para cada nível de água no solo

Corretivos	Níveis de água no solo		
	CC	80%CC	60%CC
Calcário	59,85b	62,84b	58,43b
Escória	65,06a	70,91a	68,18a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo, não diferem entre si pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 6, verifica-se um aumento linear de produção de MSC da cana-de-açúcar com o incremento dos níveis de saturação por bases para ambos corretivos, demonstrando que essa espécie respondeu bem à melhoria das condições químicas do solo, propiciadas pelo uso dos corretivos.



**Figura 6** - Produção de matéria seca do colmo (MSC) da cana-de-açúcar em função dos níveis de saturação por bases, para o calcário e escória de siderurgia.

Para a produção de matéria seca das raízes (MSR) da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Observa-se, pela Tabela 8, que a MSR, no nível de água no solo na capacidade de campo, não apresenta diferença significativa apenas no nível de saturação por bases de 40%, apresentando valores superiores de MSR na escória para os níveis de saturação por bases de 60%, 80% e 100%. Quando o nível de água no solo estudado é 80%CC, há diferença significativa entre as médias apenas na saturação por bases de 40% (maior produção de MSR para a escória) e 60% (maior produção de MSR para o calcário). No nível de água no solo de 60%CC, a escória proporciona maior produção de MSR nos níveis de saturação por bases de 40% e 60%. Os maiores valores de produção de MSR obtidos quando se utilizou escória como corretivo podem estar relacionados ao fato de que a presença de silício na escória proporciona às gramíneas uma melhor arquitetura foliar, maximizando a sua fotossíntese e sua produção de matéria seca. A maior produção de MSR pode estar associada à maior alocação de fotossintatos da parte aérea para as raízes, uma vez

que existe uma relação entre parte aérea e raízes nas plantas. Essa posição é concordante com Prado e Fernandes (2000) que afirmam que a manutenção da atividade fotossintética é considerada a principal razão do incremento da matéria seca da planta, e, por conseguinte da raiz, em resultado da aplicação do silício.

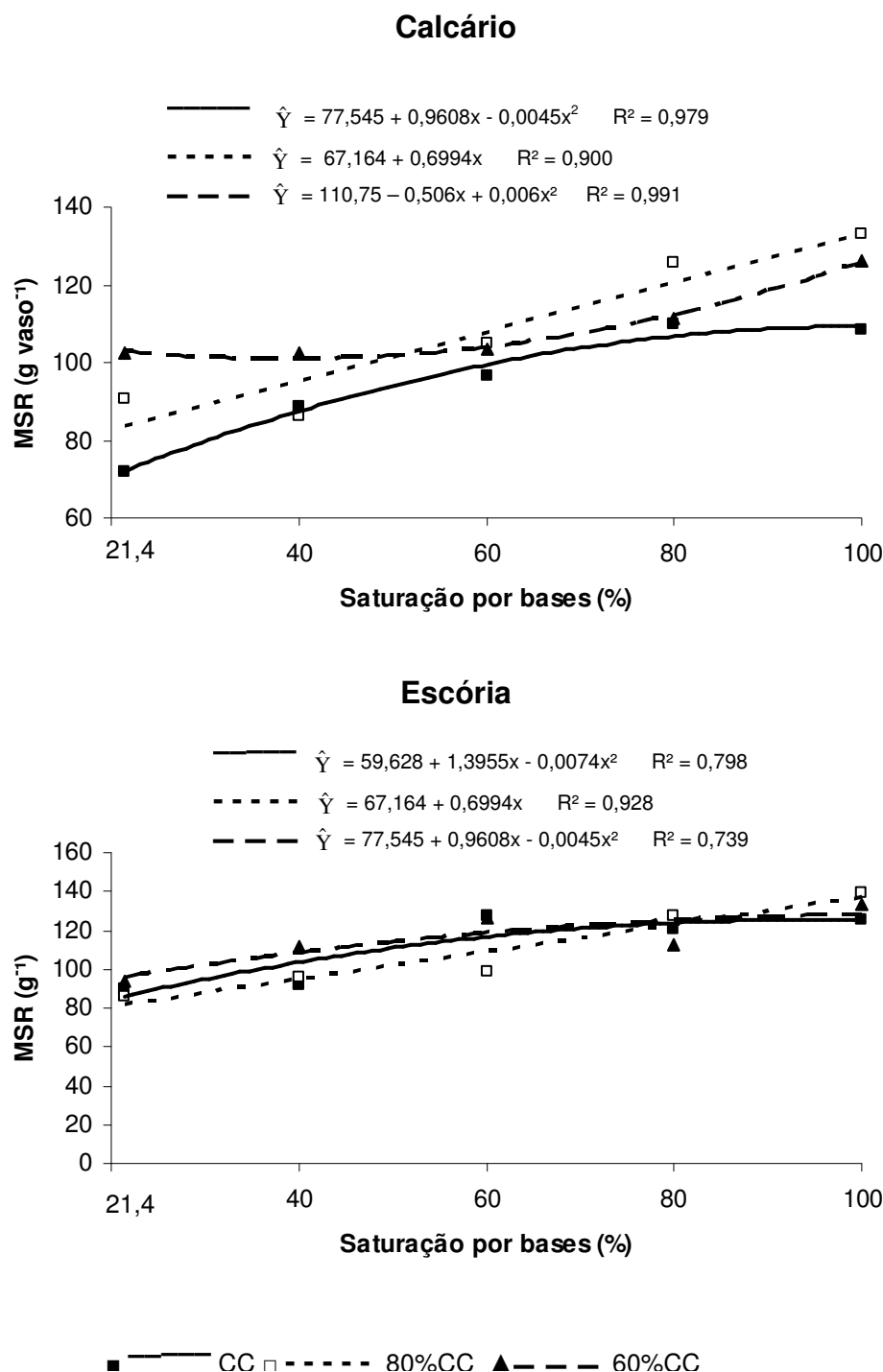
**Tabela 8** - Produção de matéria seca das raízes da cana-de-açúcar, em  $\text{g vaso}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	72,05a	88,52a	96,45b	109,84b	108,35b
	Escória	90,13b	92,26a	127,46a	120,49a	125,05a
80%CC	Calcário	90,79a	86,07b	104,72a	125,48a	133,17a
	Escória	86,26a	95,37a	98,67b	127,09a	139,21a
60%CC	Calcário	102,24a	102,50b	103,57b	111,58a	126,38a
	Escória	93,35b	111,38a	126,39a	113,07a	133,31a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 7, percebe-se, para o corretivo calcário, que na capacidade de campo há uma resposta quadrática, com aumento da produção de MSR com o incremento dos níveis de saturação por bases. No nível de 80%CC, o comportamento encontrado para a produção de MSR é o linear, havendo um aumento crescente até a saturação por bases de 100%. No nível de água no solo de 60%CC, o comportamento é quadrático, com um incremento da produção de MSR a partir da saturação por bases de 60%. Para a escória, nos níveis de água no solo da capacidade de campo e 60%CC, a produção de MSR apresenta o comportamento quadrático, sendo, para ambos, a produção de MSR crescente com o aumento dos níveis de saturação por bases. No nível de água do solo de 80%CC, a MSR apresenta resposta linear até a saturação por bases de 100%. A melhoria das condições químicas do solo, obtido com a aplicação das doses crescentes dos

corretivos, favoreceu o desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, refletindo assim em incrementos na produção de MSR.



**Figura 7** - Produção de matéria seca das raízes (MSR) da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

Para o número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar, que corresponde à porção vegetativa resultante da emissão de novos colmos e folhas a partir da base do colmo principal, não foi observado efeito significativo dos fatores em estudo (corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases) e das interações: corretivos e níveis de água no solo, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases, corretivos e níveis de saturação por bases; e da interação tripla (corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases).

Concordante com o observado, Prado et al (2004), investigando a resposta da soqueira de cana-de-açúcar, durante o terceiro e quarto corte, a partir do efeito residual da escória de siderurgia, quando comparada com o calcário calcítico concluíram, através da análise conjunta dos resultados, que não houve significância para a interação dos diferentes cortes da cana-de-açúcar e os níveis de correção, em função da aplicação da escória de siderurgia e do calcário para a variável número de perfilhos. Segundo Marchiori (2004), a extensão do perfilhamento e a sobrevivência dos perfilhos até a maturidade são características varietais, sendo fortemente influenciadas pelo clima, solo e condições nutricionais. Ainda de acordo com esse autor, as relações hídricas desempenham um papel importante na alongação dos perfilhos e na altura final dos colmos da cana-de-açúcar. Por sua vez, Fortes (2006), estudando a altura dos perfilhos através de modelos de regressão, concluiu que tal parâmetro é influenciado pela elevação de saturação por bases. Contudo, neste trabalho, conforme já relatado, não há influência significativa dos níveis de água no solo, tampouco dos níveis de saturação por bases, sobre o perfilhamento da cana-de-açúcar.

## 4.2 TEORES DE MACRONUTRIENTES E SILÍCIO NA FOLHA E NO COLMO DA CANA-DE-AÇÚCAR

### 4.2.1. Fósforo (P)

#### 4.2.1.1. Teor de P na folha da cana-de-açúcar

Para o teor de P na folha da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Nota-se, pela Tabela 9, que na capacidade de campo, não há diferença significativa entre os corretivos para o teor de P na folha da cana-de-açúcar em todos os níveis de saturação por bases estudados. Prado e Fernandes (2000), em experimento de casa de vegetação, também não observaram diferenças significativas entre a escória de siderurgia e o calcário quanto aos teores foliares de P na cana-de-açúcar. No nível de água no solo de 80%CC, só há diferença significativa entre os corretivos para os níveis de saturação por bases de 60%, onde o calcário é superior, e de 80%, em que a escória proporciona maiores teores de P na folha. Na comparação entre as médias observadas de P na folha para o nível de água de 60%CC, há diferença significativa apenas na saturação por bases de 60%, obtendo a escória o maior teor de fósforo.

Contrariamente ao que pode ser observado, Prado e Fernandes (2001), avaliando os teores de fósforo disponível em um Latossolo Vermelho-Amarelo que recebeu a aplicação de calcário calcítico e silicato de cálcio, objetivando elevar a saturação por bases a 50, 75 e 100%, observaram que houve um efeito linear da escória de siderurgia sobre o fósforo disponível no solo, tornando esse elemento mais disponível às plantas, e a ausência desse efeito quando o corretivo utilizado foi o calcário, sugerindo assim que os efeitos da escória sobre a disponibilidade de P estaria mais relacionado à saturação de sítios de adsorção de fósforo por silicatos do que ao efeito de elevação do pH do solo. Independentemente dos níveis de água no solo, corretivos e níveis de saturação por bases, verifica-se que os teores de P encontrados nas folhas se enquadram dentro ou acima da faixa de teores (1,5 a 3,0

g kg<sup>-1</sup>) considerada ideal para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Prezotti et al. (2007).

**Tabela 9** - Teor de fósforo na folha da cana-de-açúcar, em g kg<sup>-1</sup>, em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

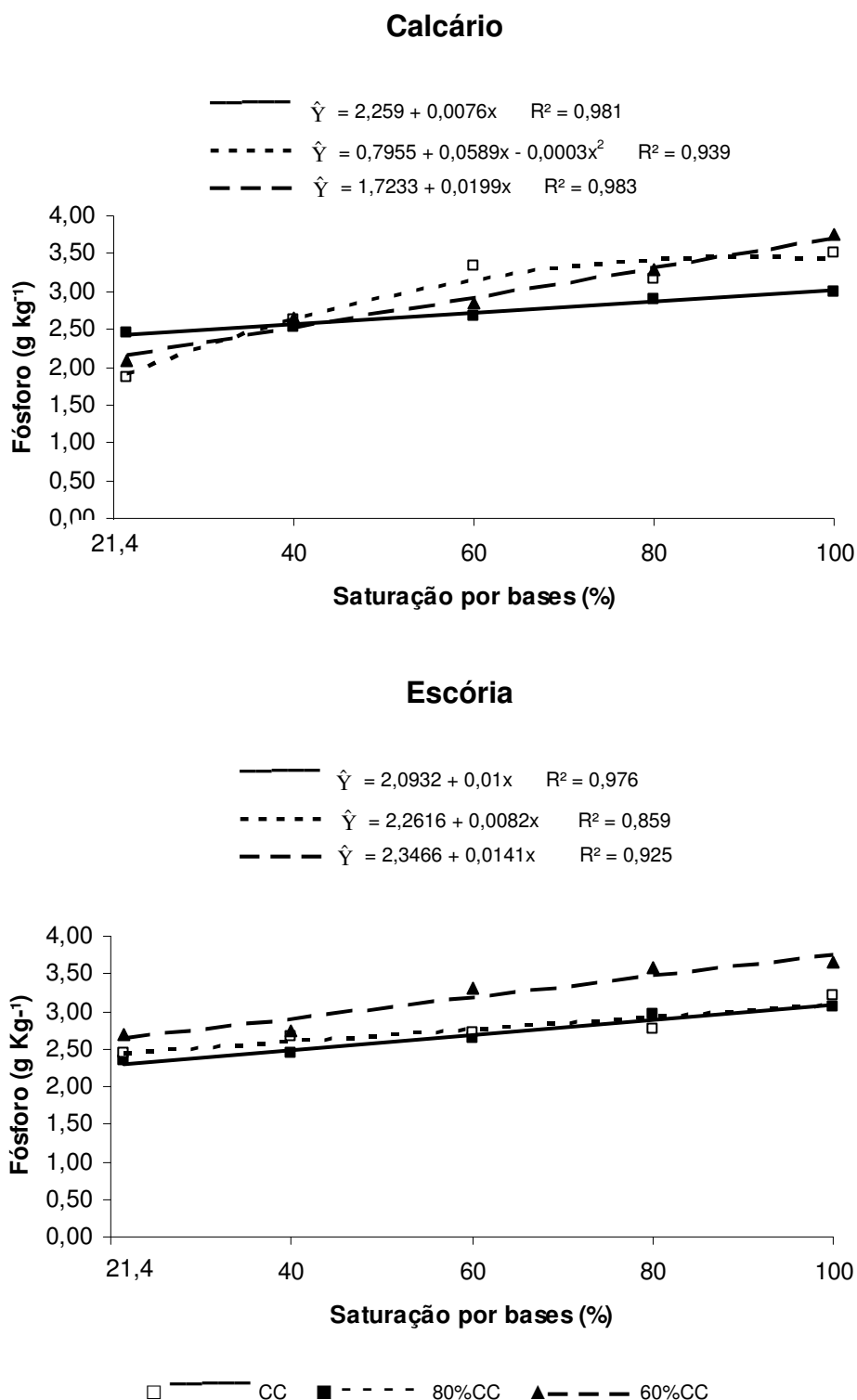
Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	2,44a	2,53a	2,65a	2,90a	3,00a
	Escória	2,34a	2,45a	2,68a	2,96a	3,07a
80%CC	Calcário	2,68a	2,63a	2,70b	3,17a	3,51a
	Escória	2,44a	2,66a	3,34a	2,77b	3,20a
60%CC	Calcário	2,09a	2,64a	2,84b	3,28a	3,65a
	Escória	1,87a	2,75a	3,30a	3,59a	3,65a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey (  $p \leq 0,05$ ).

Percebe-se, pela Figura 8, para o calcário, que para o maior (capacidade de campo) e o menor nível de água no solo (60%CC), o comportamento é linear, com um aumento dos teores de P na folha da cana-de-açúcar com a elevação dos níveis de saturação por bases. A 80%CC, o comportamento observado é quadrático, com incremento dos teores de P na folha até a saturação por bases de 80%. Para a escória, os ajustes encontrados para os diferentes níveis de água no solo apresentam comportamento linear crescente dos teores de P com a elevação da saturação por bases. Prado e Fernandes (2000), comparando o efeito do calcário e da escória na produção de matéria seca da parte aérea e os teores de nutrientes na folha da cana-de-açúcar, não encontraram diferença significativa entre os corretivos, nos níveis de saturação por bases de 50% e 100%. Existem duas possibilidades que explicam esse aumento no teor de P na folha à medida que se aumenta a saturação por bases, com o uso da escória como corretivo, podendo ser conjunta ou isoladamente. Esse aumento pode ser devido ao incremento de P disponível para as plantas por causa da ação que os materiais corretivos do solo promovem diretamente na fertilidade do solo, na disponibilidade, absorção e translocação dos

nutrientes (PREZZOTI et al, 2007), ou ainda, devido à interação entre o fósforo e o silício no solo, sendo que a literatura científica indica que há uma maior disponibilidade de P quando se utiliza a escória de siderurgia como corretivo (MADEIROS; ALMEIDA e AQUINO, 2008). Melo (2005) afirma que o uso de silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) ou de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ), em solos ácidos, favorece a maior disponibilidade de fósforo para as plantas, diminuindo a sua adsorção. De acordo com Volkweiss e Rajj (1977), o silicato tem papel importante na diminuição da adsorção de fósforo em solos tropicais, haja vista que o íon silicato compete com o fosfato pelos mesmos sítios de adsorção na superfície dos minerais, tornando este último mais disponível às plantas.





**Figura 8** - Teor de fósforo na folha da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

#### 4.2.1.2. Teor de P no colmo da cana-de-açúcar

Para o teor de P no colmo da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Pela Tabela 10, percebe-se que, no nível de água no solo à capacidade de campo, há diferença entre as médias observadas somente na saturação por bases de 40%, com valores superiores de P no colmo obtidos no corretivo escória. A 80%CC, há diferença entre as médias observadas na saturação por bases de 100%, sendo os valores superiores obtidos na escória. Por sua vez, no nível de água no solo de 60%CC há diferença entre os corretivos nos níveis de saturação por bases de 40% e 80%, com maior valor de P na folha obtido com a escória.

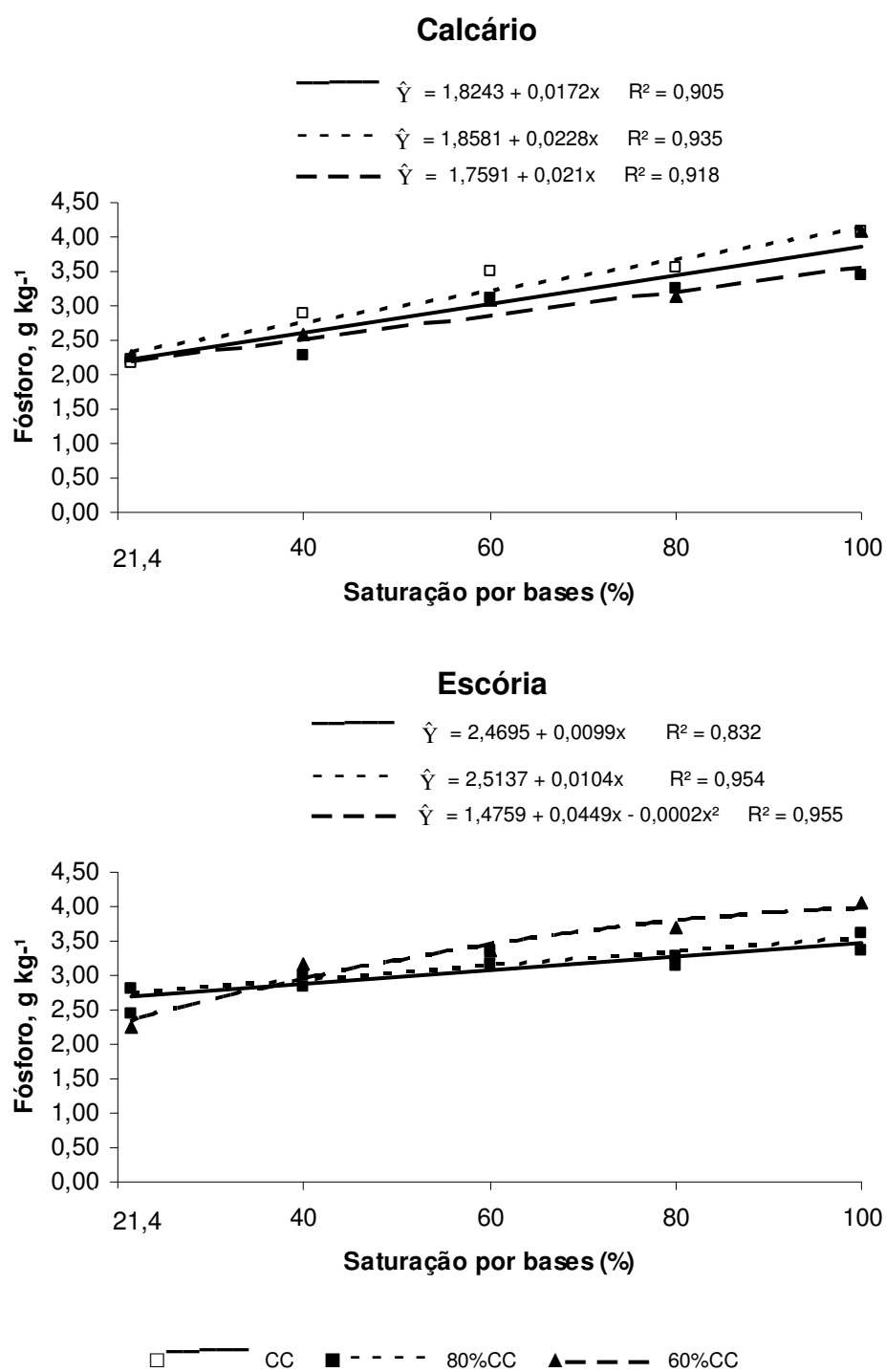
**Tabela 10** - Teor de fósforo no colmo da cana-de-açúcar, em  $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	2,22a	2,29b	3,10a	3,24a	3,45a
	Escória	2,45a	3,00a	3,37a	3,14a	3,36a
80%CC	Calcário	2,15a	2,88a	3,16a	3,55a	4,08a
	Escória	2,08a	2,84a	3,49a	3,28a	3,60b
60%CC	Calcário	2,24a	2,57b	3,07a	3,12b	4,07a
	Escória	2,27a	3,18a	3,37a	3,69a	4,05a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 9, observa-se, para o calcário, que todos os níveis de água no solo apresentam ajuste de modelos de regressão linear, em resposta à aplicação de diferentes níveis de saturação por bases, com aumento dos teores de P no colmo com o incremento dos níveis de saturação por bases. Para a escória, nos níveis de água no solo à capacidade de campo e 80%CC ocorrem ajustes lineares das

regressões, com um aumento dos teores de P no colmo com a elevação da saturação por bases até a saturação por bases de 100%. A 60%CC, o comportamento observado é quadrático, com aumento dos teores de P com a elevação da saturação por bases até V100%. Segundo Alves et al. (2002), independentemente do teor de fósforo no solo, as gramíneas apresentam grande comprimento de sistema radicular, raízes mais finas e pêlos radiculares mais longos, em função da sua morfologia radicular, o que aumenta a absorção de fósforo por unidade de raiz e a concentração de fósforo no sistema radicular. Ainda de acordo com Buso (2006), as raízes de cana-de-açúcar apresentam um comportamento diferenciado das variedades em função de seu sistema radicial, correlacionando o comprimento radicial, em metros, à absorção de fósforo. Os teores observados podem estar associados ao desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, pois, segundo Gomes (2003), condições que favoreçam o solo a possuir um maior comprimento radicular facilita o acesso das raízes ao fósforo do solo, o que facilita a absorção, por ser o fósforo um elemento de baixa mobilidade no solo.



**Figura 9** - Teor de fósforo no colmo da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

## 4.2.2. Potássio (K)

### 4.2.2.1. Teor de K na folha da cana-de-açúcar

Para o teor de K na folha da cana-de-açúcar, não foi observado efeito significativo para os fatores em estudo (corretivos, saturação por bases, níveis de água no solo; interações: corretivos e níveis de água no solo, corretivos e saturação por bases, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases; além da interação tripla: corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases). Dessa forma, não foi possível a apresentação de tabelas, pois não foi observado diferença entre os tratamentos estudados, bem como o uso de gráficos, uma vez que não foram encontrados modelos com ajuste de regressão com coeficientes estatisticamente significativos para o teor de K na folha de cana-de-açúcar.

Segundo Prezotti et al. (2007), o teor adequado de K na folha de cana-de-açúcar está entre 10 e 16 g kg<sup>-1</sup>. Dessa forma, apesar dos fatores terem se mostrado não significativos neste estudo, os teores médios desse elemento encontrados na folhas são de 14,78 g kg<sup>-1</sup>, sendo, portanto, classificados como adequados para a cultura da cana-de-açúcar, indicando que o fornecimento desse nutriente, via adubação, supriu as exigências da cultura.

### 4.2.2.2. Teor de K no colmo da cana-de-açúcar

Assim como ocorreu com o teor de K na folha da cana-de-açúcar, também não foi observado efeito significativo para nenhum dos fatores em estudo supracitados para o teor de potássio no colmo da cana-de-açúcar. Por essa razão, não foi possível a apresentação de tabelas e gráficos para esse macronutriente. A elevada oferta de K no solo (250 mg dm<sup>-3</sup> que equivale a 500 kg ha<sup>-1</sup>) e, principalmente, a quantidade semelhante desse nutriente aplicado ao solo para todos os tratamentos podem ter contribuído para tal comportamento.

### 4.2.3. Cálcio (Ca)

#### 4.2.3.1. Teor de Ca na folha da cana-de-açúcar

Para o teor de Ca na folha da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Pela Tabela 11, verifica-se que, no nível de água no solo na capacidade de campo, há diferença significativa entre os corretivos para o teor de Ca na folha da cana-de-açúcar nos níveis de saturação por bases de 40%, em que a escória é superior, e de 80%, sendo onde o calcário proporciona maior valor. No nível de água no solo de 80%CC, a escória é superior ao calcário nos níveis de saturação por bases de 40% e 60%, enquanto que nos níveis de saturação por bases mais elevados (80% e 100%), o calcário proporciona maior teor de cálcio na folha da cana-de-açúcar. No nível de água no solo de 60%CC, o calcário proporciona maiores teores de Ca na folha da cana-de-açúcar na saturação por bases de 21,4% e 100%. No entanto, vale destacar que na saturação por bases de 21,4% não era esperado diferença significativa entre os corretivos, pois, por se tratar da testemunha, não foi aplicado corretivo no solo. O comportamento distinto dos teores de Ca na folha da cana-de-açúcar em função dos corretivos, para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo, pode estar associado às diferenças de reatividade dos corretivos, sendo a escória mais reativa, e de composição química dos corretivos, apresentando o calcário maior teor de óxido de cálcio.

Barbosa et al (2004), avaliando a influência do uso de escória silicatada sobre a acidez do solo, verificaram que sua aplicação promoveu ação corretiva, com consequente aumento na saturação por bases, disponibilidade de fósforo, silício e cálcio trocável no solo. De acordo com Alcarde (1992), o silicato de cálcio presente na escória é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio presente no calcário. O teor adequado de cálcio na folha de cana-de-açúcar varia muito entre as diversas regiões canavieiras (FILHO; MACEDO; TOKESHI, 1994). Segundo Prezotti et al. (2007), os teores de Ca observados na folha da cana-de-açúcar, tanto no calcário

como na escória, se enquadram dentro ou acima da faixa de teores ( $2$  a  $8 \text{ g kg}^{-1}$ ) considerada ideal para a cultura da cana-de-açúcar, de acordo com Prezotti et al. (2007).

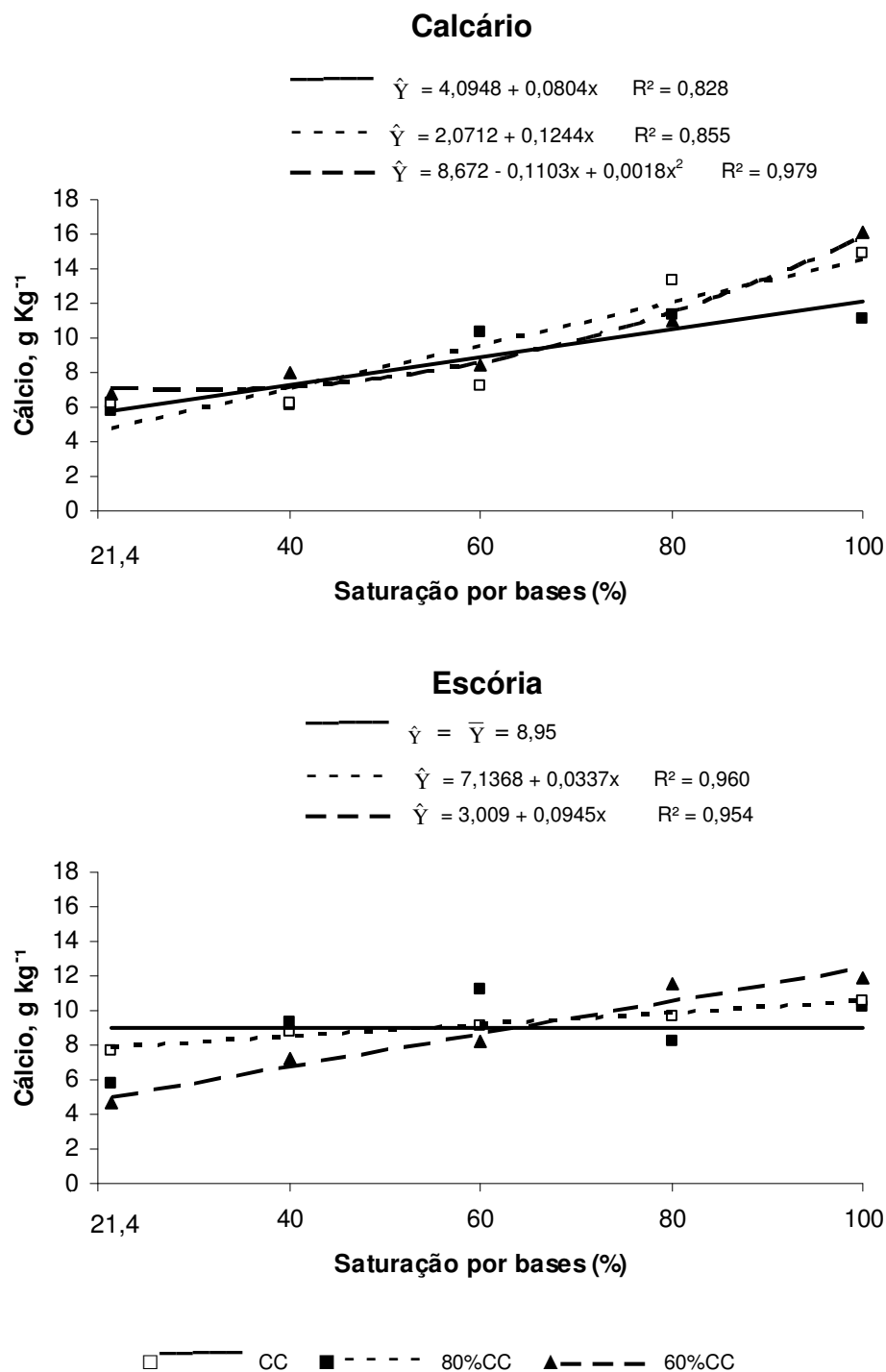
**Tabela 11** - Teor de cálcio na folha da cana-de-açúcar, em  $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	5,78a	6,11b	10,33a	11,37a	11,08a
	Escória	5,77a	9,28a	11,26a	8,25b	10,17a
80%CC	Calcário	6,23a	6,17b	7,21b	13,31a	14,88a
	Escória	7,66a	8,82a	9,10a	9,68b	10,57b
60%CC	Calcário	6,75a	7,96a	8,41a	10,95a	16,10a
	Escória	4,72b	7,19a	8,21a	11,50a	11,89b

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 10, para o calcário, nos níveis de água no solo na capacidade de campo e 80%CC, os melhores ajustes das regressões ocorrem com modelo linear, havendo um aumento dos teores de Ca na folha com a elevação da saturação por bases. A 60%CC, o comportamento observado é quadrático, com aumento dos teores de Ca na folha com a elevação da saturação por bases até  $V=100\%$ . Para a escória, os níveis de água no solo de 80%CC e 60%CC apresentam ajuste de modelos de regressão linear, em resposta à aplicação de diferentes níveis de saturação por bases, com incremento dos teores de Ca com o aumento dos níveis de saturação por bases. Estes resultados são similares aos obtidos por Fortes (2006), que, trabalhando com silicato de cálcio e magnésio como corretivo do solo, observou aumento linear dos teores de cálcio na matéria seca de gramíneas forrageiras, em função da elevação da saturação por bases. Por sua vez, Leite (2006), avaliando o teor de cálcio na folha de cana-de-açúcar sob uso de diferentes silicatos, verificou

uma redução linear quanto aos teores foliares desse nutriente em função do aumento das doses de silicato de cálcio aplicadas no solo.



**Figura 10** - Teor de cálcio na folha da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.



#### 4.2.3.2. Teor de Ca no colmo da cana-de-açúcar

Para o teor de Ca no colmo da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para as interações: corretivos e níveis de água no solo; corretivos e níveis de saturação por bases; e níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Pela Tabela 12, verifica-se que, no nível de água no solo à capacidade de campo, a escória proporciona maiores teores de Ca no colmo da cana-de-açúcar. Quando o nível de umidade do solo é de 80%CC não são observadas diferenças significativas entre os corretivos quanto ao teor de Ca no colmo da cana-de-açúcar. No entanto, a 60% CC, o calcário proporciona maiores teores de Ca no colmo em relação à escória. Verifica-se também que, independentemente do corretivo e do nível de água no solo, os valores médios de Ca observados no colmo são inferiores aos observados na folha da cana-de-açúcar.

**Tabela 12** - Teor de cálcio no colmo da cana-de-açúcar, em  $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de água no solo

Corretivo	Níveis de água no solo		
	CC	80% CC	60% CC
Calcário	6,02b	6,65a	7,64 a
Escória	7,00a	7,03a	6,82 b

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Observa-se, pela Tabela 13, que apenas os maiores níveis de saturação por bases (80 e 100%) não apresentam diferença significativa entre os níveis de água no solo, quanto ao teor Ca no colmo da cana-de-açúcar. Para a testemunha (saturação por bases = 21,4%), os maiores teores de Ca são obtidos a 80%CC e 60%CC. Para a saturação por bases de 40%, os maiores valores desse nutriente são observados na CC e 60%CC. Por sua vez, para a saturação por bases de 60%, o nível de água no solo de 60%CC proporciona valores superiores de Ca no colmo, não diferindo estatisticamente do nível de 80%CC.

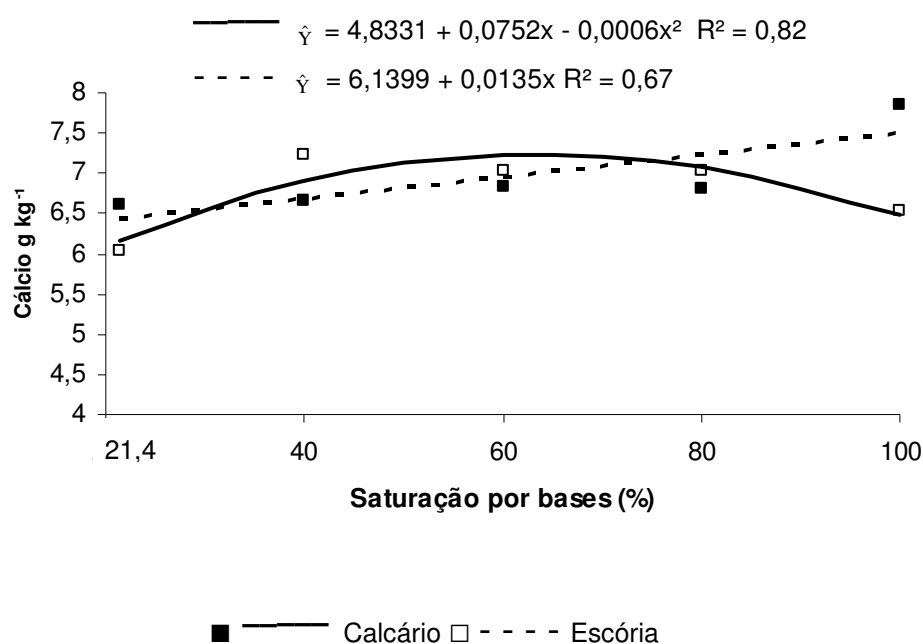
**Tabela 13** - Teor de cálcio no colmo de cana-de-açúcar, em g kg<sup>-1</sup>, em função dos níveis de água para cada saturação por bases

Níveis de água no solo	Saturação por bases (%)				
	21,4	40	60	80	100
CC	4,55b	7,52a	6,12b	6,93a	7,44a
80%CC	7,08a	5,83b	7,00ab	7,15a	6,89a
60%CC	7,34a	7,46a	7,70a	6,70a	7,26a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey (  $p \leq 0,05$ ).

Esperava-se que uma maior oferta de água no solo às plantas (nível de água no solo na CC) promovesse um incremento na absorção de Ca pela cana-de-açúcar e, conseqüentemente, maiores teores deste nutriente na parte aérea. É importante destacar que não foram encontradas referências que cite os teores adequados desse nutriente no colmo da cana-de-açúcar, uma vez que a análise química vegetal dessa cultura é feita através da folha +3 (folha diagnose).

Nota-se, pela Figura 11, que o calcário proporciona uma resposta quadrática para o teor de Ca no colmo da cana-de-açúcar, com aumento dos teores até a saturação por bases de 60%, e posterior redução desses teores com o incremento dos níveis de saturação por bases. Quando o corretivo utilizado é a escória, a resposta é linear, com um incremento dos teores de Ca no colmo com a elevação da saturação por bases. Os resultados obtidos para a escória estão de conformidade com os obtidos por Fortes (2006), o qual observou aumento linear dos teores de cálcio na matéria seca de gramíneas forrageiras, em função da elevação da saturação por bases, trabalhando com silicato de cálcio e magnésio como corretivo do solo.



**Figura 11** - Teor de cálcio no colmo de cana-de-açúcar em função dos níveis de saturação por bases, para os corretivos calcário e escória.

#### 4.2.4. Magnésio (Mg)

##### 4.2.4.1. Teor de Mg na folha da cana-de-açúcar

Para o teor de Mg na folha da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Pela Tabela 14, nota-se que, no nível de água no solo à capacidade de campo, há diferença significativa entre os corretivos para o teor de Mg na folha da cana-de-açúcar nos níveis de saturação por bases de 21,4%, 40% e 60%, sendo os maiores valores observados na escória. Na saturação por bases de 80%, o calcário proporciona maiores teores de Mg. Para a testemunha ( $V=21,4\%$ ), não seria esperada diferença significativa entre os tratamentos, haja vista que a dose dos corretivos aplicada nos mesmos é igual a 0 (zero). No nível de água no solo de 80%CC, há diferença significativa entre os corretivos para os teores de Mg na folha

da cana-de-açúcar, nos níveis de saturação por bases de 40% e 100%, sendo os maiores valores observados na escória e calcário, respectivamente. Por sua vez, no nível de água no solo de 60%CC, a escória proporciona maiores teores de Mg na folha para a saturação por bases de 60%, enquanto que para a saturação por bases de 100%, o calcário é superior. Considerando que o silicato de cálcio e magnésio (escória) é mais solúvel em água que o carbonato de cálcio presente no calcário e apresenta maior teor de óxido de magnésio, esperava-se que a escória disponibilizasse maior quantidade de Mg no solo, favorecendo assim à sua maior absorção pela cultura da cana-de-açúcar, tal como ocorreu com os níveis de saturação por bases de 40% e 60% no nível de água no solo à capacidade de campo, saturação por bases de 40% a 80%CC e saturação por bases de 60% a 60%CC. Os teores médios de Mg observados nas folhas da cana-de-açúcar, tanto para o calcário quanto para a escória, bem como para os níveis de água no solo e saturações por bases estudados, encontram-se na faixa considerada adequada para essa cultura (1 a 3 g kg<sup>-1</sup>) ou acima da mesma, segundo Prezotti et al. (2007).

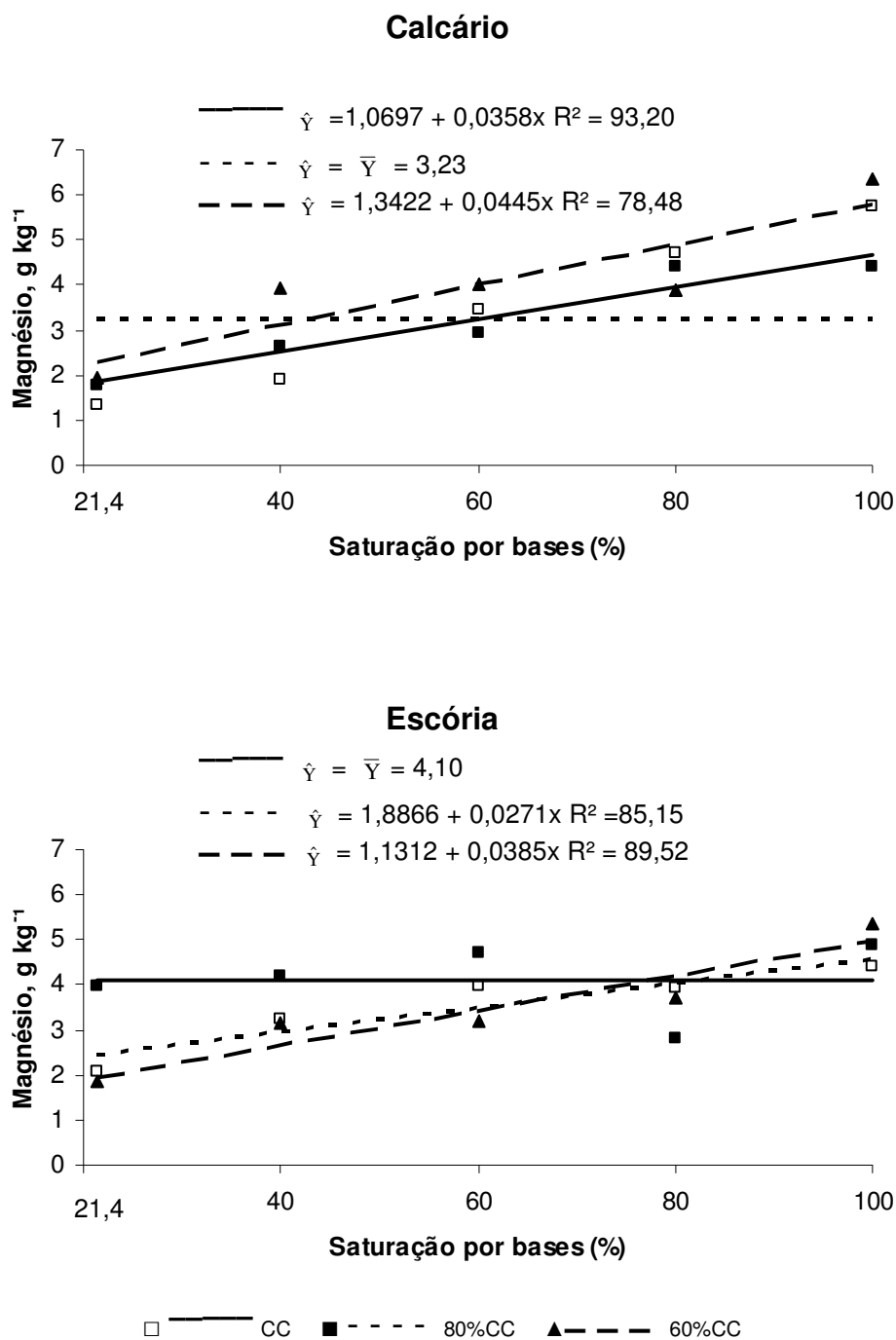
**Tabela 14** - Teor de magnésio na folha da cana-de-açúcar, em g kg<sup>-1</sup>, em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	1,75b	2,64b	2,94b	4,39a	4,41a
	Escória	3,96a	4,19a	4,69a	2,78b	4,88a
80%CC	Calcário	1,35a	1,90b	3,47a	4,69a	5,74a
	Escória	2,06a	3,22a	3,97a	3,92a	4,39b
60%CC	Calcário	1,93a	3,91a	3,19b	3,88a	6,35a
	Escória	1,84a	3,14a	4,03a	3,72a	5,35b

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( p ≤ 0,05).

O teor de Mg na folha da cana-de-açúcar, quando é utilizado calcário, apresenta ajuste de modelos lineares de regressão nos níveis de água no solo correspondente à CC e 60%CC, verificando um aumento linear dos teores desse nutriente com o

aumento dos níveis de saturação por bases, enquanto que no nível de 80%CC não são obtidos ajustes de modelos com coeficientes estatisticamente significativos. Quando o corretivo utilizado é a escória, não há ajuste dos modelos de regressão estudados para a CC quanto ao teor de Mg na folha da cana-de-açúcar. Nos níveis de umidade do solo de 80%CC e 60%CC há uma resposta linear positiva ao incremento até a saturação por bases de 100% (Figura 12). No estudo realizado por Prado, Fernandes e Natale (2002), em que se compararam os corretivos calcário e escória quanto ao acúmulo e exportação de macronutrientes na cultura de cana-de-açúcar, não foram observadas diferença estatística entre as doses aplicadas necessárias para elevar a saturação por bases de 50, 75 e 100% quanto ao teor de magnésio na folha.



**Figura 12** - Teor de magnésio na folha da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

#### 4.2.4.2. Teor de Mg no colmo da cana-de-açúcar

Para o teor de Mg no colmo da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Pela Tabela 15, observa-se que, no nível de água no solo na capacidade de campo, há diferenças significativas entre os corretivos nos níveis de saturação por bases de 60% e 100%, sendo os teores de Mg no colmo superiores na escória. No nível de água no solo de 80%CC, ocorrem diferenças significativas entre os corretivos para os níveis de saturação por bases de 21,4% (o que não era esperado em função da não aplicação de corretivos, por se tratar da testemunha) e 40%, sendo que nesta saturação por bases o calcário apresenta maiores teores de Mg no colmo. No nível de água no solo de 60%CC, os níveis de saturação por bases de 21,4%, 40%, 60% e 100% apresentam diferença significativa entre os corretivos, sendo que na saturação por bases de 40%, os valores obtidos com o calcário são superiores aos obtidos com a escória. Nas saturações por bases de 60% e 100%, os valores obtidos com a escória são superiores aos obtidos com o calcário quanto aos teores de Mg no colmo.

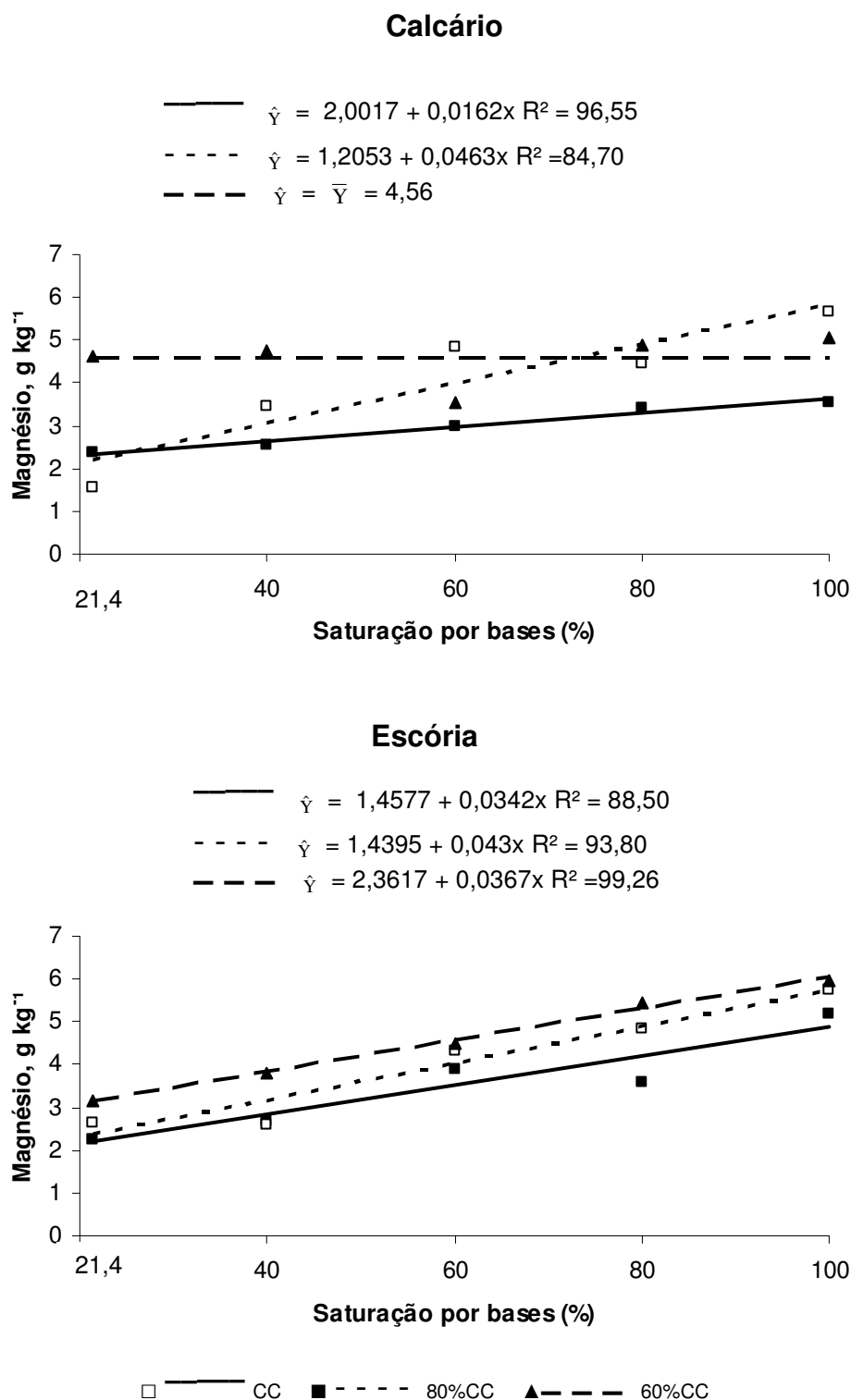
**Tabela 15** - Teor de magnésio no colmo da cana-de-açúcar, em  $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	2,37a	2,55a	2,99b	3,42a	3,52b
	Escória	2,26a	2,67a	3,86a	3,60a	5,16a
80%CC	Calcário	1,57b	3,45a	4,30a	4,45a	5,65a
	Escória	2,65a	2,60b	4,83a	4,84a	5,76a
60%CC	Calcário	4,61a	4,76a	3,52b	4,89a	5,04b
	Escória	3,15a	3,82b	4,47a	5,45a	5,95a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 13, observa-se que o teor de Mg no colmo da cana-de-açúcar, quando se utiliza calcário, apresenta ajuste de modelos lineares de regressão nos níveis de água no solo correspondente à CC e 80%CC, verificando-se um aumento linear dos teores desse nutriente com o aumento dos níveis de saturação por bases, enquanto que no nível de 60%CC, não há ajuste de modelo de regressão satisfatório com coeficiente estatisticamente significativo. Quando se utiliza a escória como corretivo, em todos os níveis de água estudados no solo, os ajustes das regressões com coeficientes significativos ocorrem no modelo linear, com um aumento dos teores de Mg no colmo da cana-de-açúcar com a elevação dos níveis de saturação por bases. Esse comportamento era esperado, pois, à medida que se aumentaram os níveis de saturação por bases, favoreceu-se a um aumento da disponibilidade desse nutriente no solo e, por consequência, um incremento em sua absorção. Prado, Fernandes e Natale (2001), estudando o efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo, na soqueira de cana-de-açúcar, comparativamente ao calcário calcítico, observaram que na comparação entre doses crescentes de corretivos, a escória foi superior ao calcário calcítico quanto à elevação nos teores de Mg trocável do solo.





**Figura 13** - Teor de magnésio no colmo da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

## 4.2.5. Silício (Si)

### 4.2.5.1. Teor de Si na folha da cana-de-açúcar

Para o teor de silício na folha da cana-de-açúcar verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

Percebe-se, pela Tabela 16, que, no nível de água no solo da capacidade de campo, os teores de Si na folha da cana-de-açúcar, em todos os níveis de saturação por bases, exceto na testemunha ( $V = 21,4\%$ ), diferem significativamente entre os corretivos, sendo os maiores valores de Si observados na escória. No nível de água de 80%CC, as diferenças significativas entre os corretivos ocorrem nos níveis de saturação por bases de 60%, 80% e 100%, apresentando a escória o maior teor de Si na folha. No nível de água no solo de 60%CC, a escória é superior ao calcário nos níveis de saturação por bases de 40% e 100%. Outro ponto importante a ser destacado é a diferença percentual média observada para o teor de Si nas folhas de cana-de-açúcar nos diferentes níveis de água no solo e saturação por bases, para os dois corretivos avaliados. No nível de água na CC, o teor médio de Si nas folhas é 42,16% maior nos tratamentos que receberam a aplicação da escória, com essa diferença caindo para 24,35% quando o nível de água no solo estava a 80% da CC. No nível de umidade de 60% da CC, observa-se que o teor médio de Si nas folhas é 15,93% maior nos tratamentos que receberam a aplicação da escória. Esses dados revelam que o maior teor de Si em folhas ocorre em solos com suprimento adequado de água e boa disponibilidade do elemento.

Além disso, ao se analisar os valores de Si na folha, percebe-se pelos elevados teores de Si encontrados que a cana-de-açúcar assimila grandes quantidades desse elemento com o incremento dos níveis de saturação por bases, inclusive quando o corretivo utilizado é o calcário. A justificativa para esse comportamento é que a aplicação de doses crescentes do corretivo no solo, seja calcário ou escória, promove um incremento do pH e aumento do número de cargas negativas no complexo sortivo do solo, reduzindo a adsorção do ânion silicato, e, desta forma, aumentando a disponibilidade de Si na solução do solo para as plantas. Silva et. al

(2005), em estudo do efeito do silicato de cálcio usado como fonte de silício para a cultura do arroz comparado ao calcário, concluíram que tanto os silicatos quanto os carbonatos aumentaram os teores de Si no solo pela elevação do pH do solo. Por sua vez, Camargo; Korndörfer; Pereira (2007), estudando a solubilidade do silício em solos sob influência do calcário e ácido silícico, concluíram que, independentemente do tipo de solo, as doses de calcário proporcionaram aumento de silício extraído em ácido acético para o horizonte A e B, indicando que o teor disponível as plantas também aumentam. Camargo et al. (2007) obtiveram resultados similares ao encontrarem aumentos lineares do teor de silício na folha da cana-de-açúcar com o incremento de doses de calcário e de silicato (escória) no solo de cultivo.

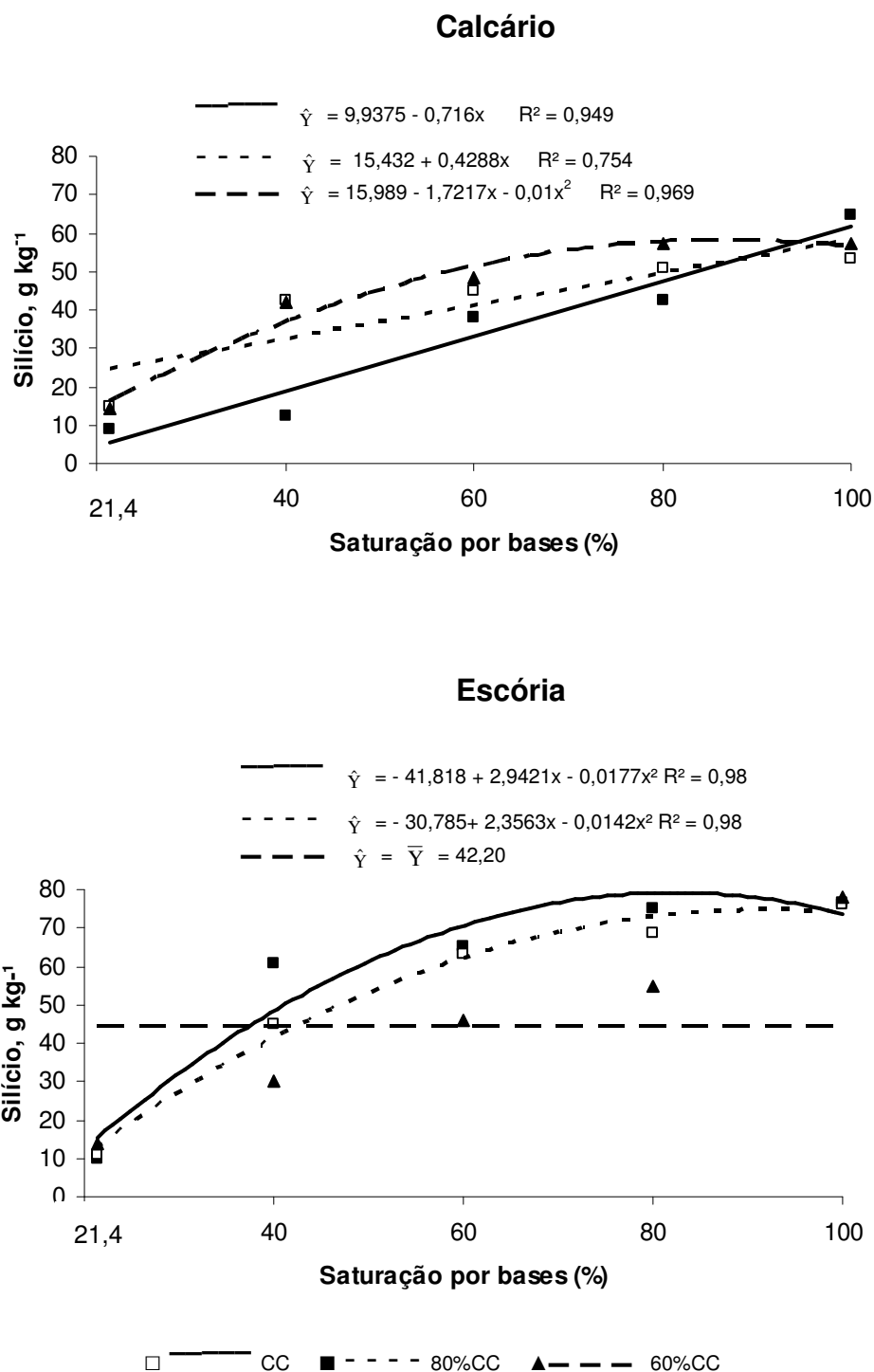
**Tabela 16** - Teor de silício na folha da cana-de-açúcar, em  $\text{g kg}^{-1}$ , em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	8,91a	12,56b	37,81b	42,29b	64,53b
	Escória	10,00a	60,50a	65,00a	75,00a	76,66a
80%CC	Calcário	11,00a	42,40a	44,96b	50,91b	53,23b
	Escória	14,87a	45,00a	63,00a	68,50a	76,28a
60%CC	Calcário	13,66a	30,00b	46,00a	54,66a	57,23b
	Escória	14,29a	41,79a	48,28a	57,41a	78,00a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

Pela Figura 14, observa-se para o calcário, nos níveis de água no solo na capacidade de campo e 80%CC, uma resposta linear, com elevação dos teores de Si na folha da cana-de-açúcar com o incremento dos níveis de saturação por bases até o limite de 100%. No nível de umidade no solo de 60%CC, o comportamento apresentado para o teor de silício na folha é o quadrático, atingindo a maior média observada na saturação por bases de 80%, decrescendo em seguida (V=100%). Provavelmente, a aplicação de doses do calcário, mesmo não sendo uma fonte de Si, tenha contribuído para o aumento do pH e da CTC do solo, aumentando a

disponibilidade desse elemento no solo e, conseqüentemente, sua absorção pelas plantas. Para a escória, são obtidos ajustes quadráticos para os níveis de água no solo à capacidade do campo e 80%CC, com incremento dos teores de Si até a saturação por bases de 80%. No nível de água no solo de 60%CC, não foi possível o ajuste de modelos de regressão com coeficientes estatisticamente significativos. De acordo com Prado, Fernandes e Natale (2001), a variação de umidade do solo pode interferir na solubilidade do silício, sendo que em condições de menor volume de água no solo há um aumento da sua concentração na solução do solo e isso pode levá-lo a se polimerizar. Portanto, a maior solubilidade em água da escória pode ter sido o fator que leva à maior absorção de Si nos maiores níveis de umidade do solo.



**Figura 14** - Teor de silício na folha da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

Os teores de Si encontrados na folha da cana-de-açúcar podem ser classificados como adequados, embora não haja pesquisas que indiquem os teores adequados

de Si na variedade forrageira IAC 86-2480. Conforme destaca Korndörfer et al. (1998), a cana-de-açúcar apresenta teores de Si nas folhas variáveis segundo a variedade. No entanto, esses autores encontraram para a cana-de-açúcar forrageira RB 72454, teores de Si na folha de 0,76% (7,6 g kg<sup>-1</sup>). Por sua vez, Korndörfer; Pereira e Camargo (2002) afirmam que o silício aparece em altas concentrações nas folhas da cana-de-açúcar, podendo variar de 0,14% em folhas jovens até 6,7% em folhas velhas (1,4 g kg<sup>-1</sup> e 67 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente). Epstein e Bloom (2004) afirmam que os valores usuais para o elemento em matéria seca vegetal variam aproximadamente de 0,1% a 10% (1,0 g kg<sup>-1</sup> e 100 g kg<sup>-1</sup> respectivamente), embora tantos valores menores quanto maiores possam ser encontrados. No presente estudo, o teor de Si na folha de cana-de-açúcar varia de 8,91 a 78,00 g kg<sup>-1</sup>, mesmo nos tratamentos que receberam doses mais elevadas, manteve-se dentro da faixa de concentração considerada normal pelos autores supracitados.

#### 4.2.5.2. Teor de Si no colmo da cana-de-açúcar

Para o teor de silício no colmo da cana-de-açúcar, verifica-se que há efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para a interação tripla entre os fatores corretivos, níveis de água no solo e níveis de saturação por bases.

De modo geral, os teores de Si no colmo da cana-de-açúcar mostraram-se inferiores aos observados nas folhas. O maior acúmulo de Si nas folhas pode estar atrelado ao fato de a folha ser o órgão mais ativo da planta, e por esse motivo acumular mais Si em relação ao colmo. Outro fator a ser considerado é o fato do Si ser um elemento imóvel na planta, e por esse motivo praticamente não é redistribuído, razão pela qual foram observados menores teores nos colmos. De acordo com Korndörfer et al. (2005), o silício se acumula principalmente nas áreas de máxima transpiração, o que culmina com maiores teores desse elemento nas folhas.

Pela Tabela 17, nota-se que, no maior nível de água no solo (CC), há diferença significativa entre os corretivos para todos os níveis de saturação por bases estudados quanto ao teor de Si no colmo da cana-de-açúcar, sendo os maiores

valores encontrados quando o corretivo utilizado é a escória. No nível de 80%CC, as diferenças significativas entre os corretivos ocorrem nas saturações por bases de 21,4%, 40%, 60% e 80%, sendo os teores de Si obtidos com a escória superiores aos verificados para o calcário. Para o menor nível de água do solo (60%CC), a escória proporciona teores superiores de Si em todos os níveis de saturação por bases. O fato de a cana-de-açúcar ser uma planta acumuladora de silício e a escória apresentar esse elemento em sua composição são fatores que contribuem para os elevados valores desse elemento observados no colmo da cana-de-açúcar, quando se utiliza esse corretivo, comparativamente ao calcário. Korndörfer; Pereira e Camargo (2002) encontraram 0,93 kg de Si extraído por tonelada de colmos de cana planta, o que é uma quantidade elevada. No presente estudo, numa estimativa baseada nos dados na Tabela 17, a quantidade máxima extraída é de 0,044 kg de Si por tonelada de colmos.

**Tabela 17** - Teor de silício no colmo da cana-de-açúcar, em g kg<sup>-1</sup>, em função dos corretivos para cada nível de saturação por bases e cada nível de água no solo

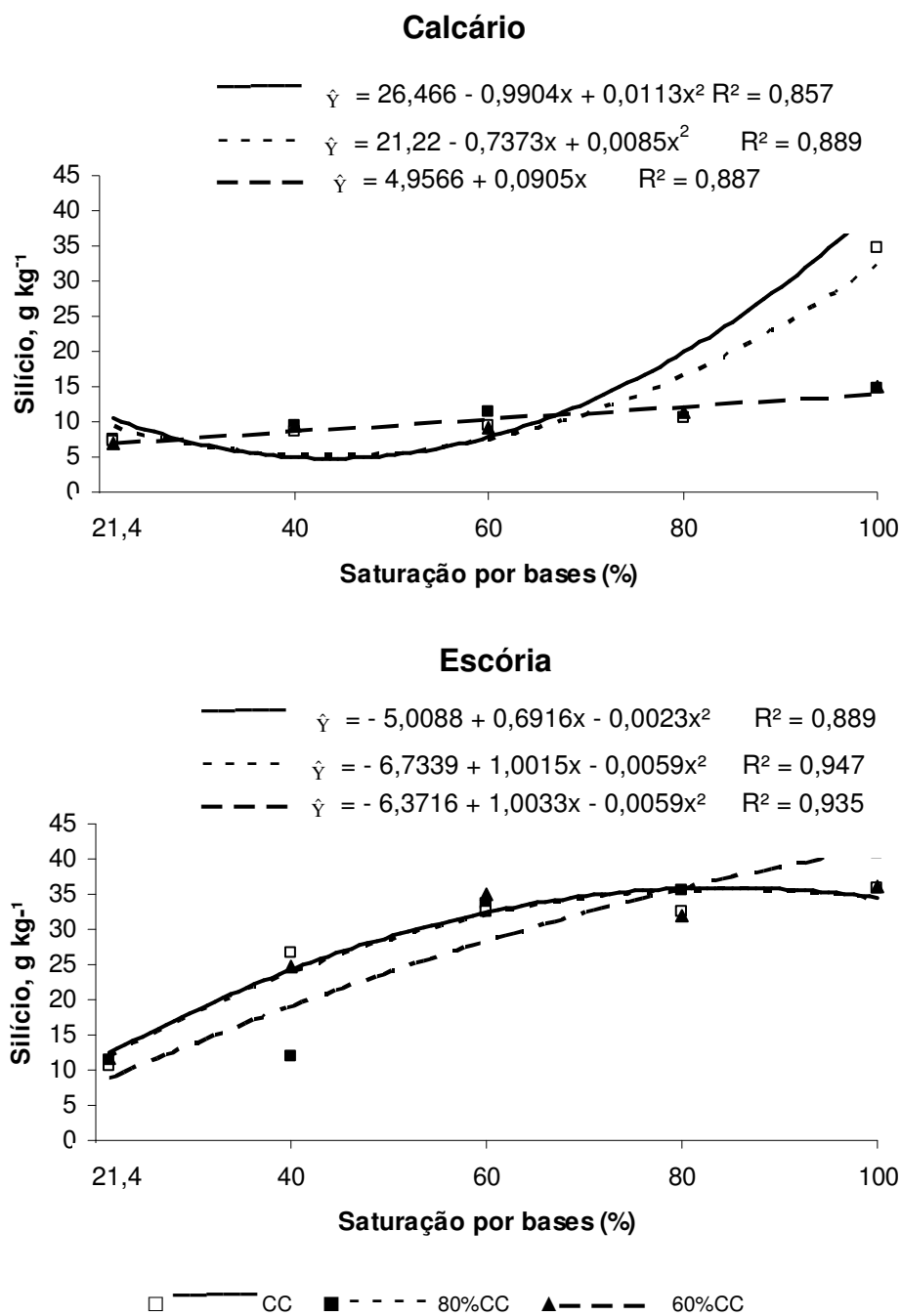
Níveis de água no solo	Corretivos	Saturação por bases (%)				
		21,4	40	60	80	100
CC	Calcário	7,47b	9,50b	11,46b	10,66b	40,72b
	Escória	11,50a	12,00a	33,58a	35,55a	44,66a
80%CC	Calcário	7,23b	8,64b	9,50b	10,66b	34,83a
	Escória	10,50a	26,63a	32,45a	32,52a	35,86a
60%CC	Calcário	7,02b	9,50b	9,14b	11,40b	15,00b
	Escória	11,66a	24,70a	35,12a	31,82a	36,03a

\*Médias seguidas pela mesma letra na coluna, para cada nível de água no solo e nível de saturação por bases, não diferem entre si pelo teste de Tukey (  $p \leq 0,05$ ).

Nota-se, pela Figura 15, para o calcário no nível de água no solo na capacidade de campo e 80%CC, há um comportamento quadrático para o teor de silício no colmo da cana-de-açúcar, com um incremento mais acentuado dos teores desse elemento a partir da saturação por bases de 60%. Para o menor nível de umidade do solo (60%CC), há uma resposta linear, com elevação dos teores de Si na folha da cana-

de-açúcar com o aumento dos níveis de saturação por bases até o limite de 100%. Para a escória, são obtidos ajustes quadráticos para todos os níveis de água no solo (capacidade do campo, 80%CC e 60%CC). Nos maiores níveis de umidade, há um incremento dos teores de Si até a saturação por bases de 80%. Por sua vez, no nível de água no solo de 60%CC, o modelo quadrático encontrado proporciona um incremento dos teores de Si até a saturação por bases de 100%.





**Figura 15** - Teor de silício no colmo da cana-de-açúcar em função dos diferentes níveis de saturação por bases, para cada nível de água no solo à capacidade de campo (CC), 80% da capacidade de campo (80% CC) e 60% da capacidade de campo (60%CC), utilizando-se calcário e escória de siderurgia.

## 5 CONCLUSÕES

1. A combinação do uso de corretivos da acidez do solo, níveis de água e níveis de saturação por bases influenciam o desenvolvimento e nutrição mineral da cana-de-açúcar.
2. Para os menores níveis de água no solo (80%CC e 60%CC), a escória promove maior produção de matéria seca da parte aérea da cana-de-açúcar, em relação ao calcário.
3. A aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo (calcário e escória) favorece um incremento na produção de matéria seca da parte aérea, folhas, caule e raízes da cana-de-açúcar.
4. A elevação dos níveis de saturação por bases, obtida com a aplicação de doses crescentes dos corretivos da acidez do solo, de maneira geral, promove um aumento nos teores de fósforo, cálcio, magnésio e silício na folha e no colmo da cana-de-açúcar.
5. Os teores de silício na folha e no colmo da cana-de-açúcar são superiores na escória em relação ao calcário.
6. A escória de siderurgia demonstra grande potencial como fonte alternativa de Ca, Mg e Si, sendo, portanto, uma opção interessante visando o aumento da produção e melhoria da nutrição mineral da cana-de-açúcar.

## 6 REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2. ed. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).

ASSIS, P. C. de O. et al. Resposta dos parâmetros tecnológicos da cana-de-açúcar a diferentes lâminas de irrigação e adubação. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 7-18, 2004.

BARBOSA FILHO, M. P.; ZIMMERMANN, F. J. P.; SILVA, O. F. da. Influência da escória silicatada na acidez do solo e na produtividade de grãos do arroz de terras altas. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 28, n. 2, p. 323-331, mar./abr. 2004.

BUSO, P. H. de M. **Estudo do sistema radical de cana-de-açúcar no plantio em gema e tolete**. 2006. 88 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2006.

CAMARGO, M. S. de; KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S. Solubilidade do silício em solos: influência do calcário e ácido silícico aplicados. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 637-647, 2007.

CARNEIRO, C. E. A. et al. Calcário, Potássio, Fosfato e Silício na produtividade do solo. **Acta Sci. Agron.**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 465-470, out./dez. 2006.

CARVALHO, R. et al. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em latossolo e cambissolo. **Ciência Agrotécnica de Lavras**, Lavras, v. 27, n. 3, p. 491-500, 2003.

CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, dez. 2004.

CARVALHO-PUPATTO, J. G. et al. Efeito de escória de alto forno no crescimento radicular e na produtividade de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 11, p. 1323-1328, nov. 2003.

COELHO, P. E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, São Paulo, v. 49, p. 36-45, dez. 1998.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Avaliação da safra agrícola de cana-de-açúcar 2006/2007**: terceiro levantamento. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2006.

COSTA, J. P. V. da et al. Fluxo difusivo de fósforo em função de doses e da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 4, p. 828-835, 2006.

DEMATTE, J. L. I. Cultura da cana-de-açúcar: recuperação e manutenção da fertilidade dos solos. **Informativo Agrônomo**, n. 111, set. 2005. Encarte Técnico.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Londrina: Planta, 2006.

FARIA, R. J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. 2000. 47 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2000.

FARIAS, C. H. de A. et al. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 494-506, jul./set. 2008.

FARIAS, C. H. de A. et al. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 356-362, 2008.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCAR, 2000. p. 255-258.

FORTES, C. A. **Correção do solo com silicato de cálcio e magnésio para a produção de gramíneas forrageiras**. 2006. 137 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmo e exportações de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (Saccharum L.)**. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2003.

KORNDÖRFER G.H. et al. Avaliação de métodos de extração de silício em solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23 n. 1, p. 101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G. H., COLOMBO, C. A.; RODRIGUES, L. L. Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane. **Inter-American Sugar Cane Seminar**, Miami, FL, p. 9-11, Sept. 1998.

KORNDORFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2003. 22 p. (Boletim Técnico, n. 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. de. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi, 2004. 23 p. (Boletim Técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, Pereira. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. **Sociedade dos Técnicos Açúcareiros e Alcooleiros do Brasil**, n. 2, nov./dez. 2002.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, Pereira. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICIAG, 2002.

LEITE, G. M. V. **Fontes e doses de silicato no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar**. 2006. 52 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.

LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. O silício na agricultura. **Informativo Agrônomo**, n. 87, p. 1-7, set. 1999. Encarte Técnico.

MADEIROS, L. B.; ALMEIDA, G. M. de; AQUINO, B. F. de. Aplicação de escória siderúrgica no solo: efeito sobre o fósforo solúvel. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 2, p. 5-13, maio/ago. 2008.

MARCHIORI, L. F. S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade de cana-de-açúcar**. 2004. 273 f. Tese (Doutorado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2004.

MELO, S. P. de et al. Silicon accumulation and water deficit tolerance in Brachiaria grasses. **Scientia Agricola**, v. 60, n. 4, p. 755-759, Oct./Dec. 2003.

MELO, S. P. de. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim marundu num latossolo vermelho amarelo**. 2005. 123 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) -Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2005.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science and Plant Nutrition**, Baltimore, v. 29, p. 71-83, 1983.

NETO, A. E. F. et al. **Fertilidade do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.

OLIVEIRA, M. W. de et al. **Avaliação do potencial produtivo de sete variedades de cana-de-açúcar sob irrigação complementar**. Trabalho apresentado na XXV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, Rio de Janeiro, 2002.

ORLANDO FILHO, J.; MACEDO, N.; TOKESHI, H. Seja o doutor do seu canal. **Informativo Agrônomo**, Campinas, n. 67, p. 1-16, set. 1994.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 101-108, 2003.

PEREIRA, T. A. **Crescimento, anatomia e relações hídricas de cafeeiro (Coffea arabica L.) adubados com diferentes combinações de silicato de cálcio e calcário**. 2007. x f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na taxa de folhas senescentes da cultura da cana-de-açúcar. **Revistas de Agricultura**, Piracicaba, v. 75, fasc. 3, p. 311, 2000.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo cultivado com cana-de-açúcar em vaso. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 739-744, out./dez. 2000.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Calcário e escória de siderurgia avaliados por análise foliar, acúmulo, e exportação de macronutrientes em cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 1, p. 129-135, jan./mar. 2002.

PRADO, R. de M.; FERNANDES, F. M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 287-296, 2003.

PREZOTTI, L. C. et al. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 5ª aproximação. Vitória: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007.

SILVA, D. K. T. da. **Crescimento de cultivares de cana-de-açúcar em primeira soca na região noroeste do Paraná na safra de 2002/2003**. 2005. 73 f. Monografia (Especialização em Agricultura) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2005.

SILVA, F. C. da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa, 1999.

TAUPIER, L. O. G.; RODRÍGUES, G. G. A cana-de-açúcar. In: INSTITUTO CUBANO DA INDÚSTRIA DA CANA DE AÇÚCAR. **Manual dos derivados da cana-de-açúcar**: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia. Brasília: ABIPTI, 1999.

VASCONCELOS, A. C. M. de; GARCIA, J. C. Cana-de-açúcar: Ambientes de produção - desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar. **Informativo Agrônomo**, n. 110, jun. 2005. Encarte Técnico.

VOLKWEISS, S. J.; VAN RAIJ, B. Retenção e disponibilidade do fósforo em solos. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 4., 1976, Brasília. **Anais...** Belo Horizonte: Itatiaia, 1977. p. 317-332.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) da produção de matéria seca

Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) da produção de matéria seca da parte aérea (MSPA), da folha (MSF), do colmo (MSC), da raiz (MSR) e número de perfilhos (NP) da cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes corretivos da acidez do solo, níveis de água no solo e saturação por bases

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	Quadrado Médio				
		MSPA	MSF	MSC	MSR	NP
Corretivo (C)	1	1546,201*	122,433*	55,932*	2,924*	4,444
Nível de água no solo (NA)	2	761,128*	375,613*	397,643*	1387,008*	3,233
Saturação por bases (V)	4	4143,606*	506,957*	165,145*	659,931*	0,738
C x NA	2	1737,586*	986,398*	1132,702*	4426,018*	6,144
C x V	4	50,169	372,511	503,273*	423,234*	2,861
NA x V	8	240,103*	54,828*	75,121	135,026*	1,913
C x NA x V	8	215,314*	202,710*	17,124	376,834*	3,269
Resíduo	58	54,073	188,262	23,959	142,027	2,922
CV (%)		5,43	8,10	7,44	4,18	12,88

\* significativo a 5% pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).



**APÊNDICE B - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) na folha da na cana-de-açúcar**

Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) na folha da na cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes corretivos da acidez do solo, níveis de água no solo e saturação por bases

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Ca	Mg	Si
Corretivo (C)	1	0,002	0,033	1,485*	0,004	10,882*
Nível de água no solo (NA)	2	0,026*	0,021	7,417	0,369	3302,361*
Saturação por bases (V)	4	0,963*	0,095	1,811*	0,542*	62,892*
C x NA	2	3,068*	0,011	113,117*	22,106*	8276,211*
C x V	4	0,349*	0,060	3,576*	3,948*	1041,936*
NA x V	8	0,151*	0,050	18,183*	2,953*	267,458*
C x NA x V	8	0,158*	0,049	9,144*	1,639*	56,873*
Resíduo	58	0,148	0,078	5,723	1,316	322,775
CV (%)		7,51	8,99	10,35	13,63	8,85

\* significativo a 5% pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

### APÊNDICE C - Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) no colmo da cana-de-açúcar

Valores do quadrado médio e coeficiente de variação (CV) dos teores de macronutrientes (P, K, Ca, Mg) e silício (Si) no colmo da cana-de-açúcar submetida à aplicação de diferentes corretivos da acidez do solo, níveis de água no solo e saturação por bases

FONTES DE VARIAÇÃO	GL	Quadrado Médio				
		P	K	Ca	Mg	Si
Corretivo (C)	1	0,019*	0,025	0,390*	0,061	0,236*
Nível de água no solo (NA)	2	0,387*	0,155	2,296*	0,855*	4160,974*
Saturação por bases (V)	4	0,448*	0,172	6,450*	13,281*	51,622*
C x NA	2	5,290*	0,011	14,717*	16,069	1604,127*
C x V	4	0,295	0,221	4,559	0,676*	106,817*
NA x V	8	0,245*	0,179	0,803	1,413*	373,092*
C x NA x V	8	0,126*	0,353	0,704	1,607*	122,740*
Resíduo	58	0,176	0,228	0,619	1,056	68,132
CV (%)		7,80	6,42	12,34	12,24	6,42

\* significativo a 5% pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

# 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](#)