

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA**

FABIANA MANARELLI

**Estado nutricional de cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação
de calcário e gesso no solo**

Piracicaba

2015

FABIANA MANARELLI

**Estado nutricional de cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação
de calcário e gesso no solo**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear
na Agricultura da Universidade de São Paulo para
obtenção de título de Mestre em Ciências

Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no
Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu-Junior

Piracicaba

2015

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP

Manarelli, Fabiana

Estado nutricional de cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso no solo / Fabiana Manarelli; orientador Cássio Hamilton Abreu Junior. - - Piracicaba, 2015.

42 p.: il.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Biologia na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Adubação 2. Alumínio 3. Corretivos do solo 4. Nutrientes minerais do solo
I. Título

CDU 633.61 : 631.82

Dedico aos meus pais Helena e Flávio, pelo inestimável e incansável apoio, compreensão e amor. A conclusão de mais esta etapa só foi possível por ter vocês ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus pelo dom da vida e por estar presente nos momentos difíceis;

Aos meus pais pelo amor, amizade e confiança em todos estes anos;

Ao Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu Junior, pela orientação, confiança e toda dedicação durante o tempo que estive no laboratório;

À Prof. Dra. Elisabete Aparecida De Nadai Fernandes, pela confiança, conselhos e apoio nos momentos necessários;

À todos os funcionários do CENA, que contribuem para melhoria e atendimento aos alunos;

Aos amigos que fiz durante estes quase três anos de mestrado;

Ao meu irmão Flávio Henrique Manarelli, pelo apoio nas horas em que necessitei;

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado;

E à todos que de alguma forma contribuíram comigo nestes anos aqui na Esalq e na cidade de Piracicaba.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre
ombros de gigantes”
(Isaac Newton)*

RESUMO

MANARELLI, F. **Estado nutricional de cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso no solo.** 42 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

As áreas destinadas à cultura de cana-de-açúcar estão concentradas em áreas de Cerrado, que são solos ácidos, com elevada saturação por alumínio e baixa saturação por bases. Para correção destas características, faz-se o uso de corretivos e fertilizantes no momento da implantação da cultura. Embora a toxidez por alumínio seja uma das mais sérias limitações ao crescimento de plantas em solos ácidos, há uma carência de estudos relacionando-a com a cultura de cana-de-açúcar. Com base nisto, o objeto deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de calcário e gesso sobre o estado nutricional de quatro cultivares de cana-de-açúcar, distintas quanto à exigência nutricional, na fase de perfilhamento da cultura. Para tanto, desenvolveu-se experimento em casa de vegetação com vasos contendo 4 kg de amostra de solo, com saturação por alumínio de 29%, como substrato, com os seguintes tratamentos: 1) aplicação de calcário, 2) aplicação de gesso, e 3) controle, sem adição de calcário e gesso. Os cultivares utilizados foram: IACSP95-5000, IACSP94-2094, SP80-3280 e IAC95-3028. Após adição dos tratamentos, as amostras de solo foram incubadas por 45 dias. Para os materiais vegetais, mini-toletes de gema única das cultivares foram pré-brotados, crescidos por 90 dias e transplantados para os vasos, para os respectivos tratamentos. As plantas foram adubadas com macro e micronutrientes e cultivadas por 60 dias. Os tratamentos foram caracterizados quanto aos atributos químicos para avaliação da fertilidade após a incubação e após a coleta das plantas. Nas plantas, foram feitas avaliações de: clorofila, flavonoides, índice de balanço do nitrogênio (NBI), concentração de alumínio e dos nutrientes e produção de matéria seca de folha, colmo e raiz. Enquanto o tratamento gesso não diferiu do controle, o tratamento calcário foi efetivo para correção da reação da amostra de solo, com elevação dos valores de pH e saturação por bases, e redução da saturação por alumínio e acidez total, além do aumento nos teores de Ca e Mg. A adubação NPK+micro foi efetiva para aumentar os teores de P e K dos substratos de todos os tratamentos. Nas plantas, para todos os cultivares, os índices de clorofila, flavonoides e NBI foram mais adequados no tratamento calcário, em relação ao controle e ao gesso. A produção de matéria seca total e das partes das plantas, de modo geral, foi maior para a IACSP95-5000, intermediária para a IACSP35-3028 e menor para a IACSP94-2094 e SP80-3280. Quanto aos tratamentos, não houve efeito do calcário e gesso sobre a produção de matéria seca de folha, contudo, houve aumento de produção de matéria seca de colmo e raiz pelo calcário, na cultivar IACSP95-5000. Independente do tratamento, as cultivares apresentaram concentração de alumínio superior a 5000 mg kg⁻¹ nas raízes e inferiores a 360 e 160 mg kg⁻¹ nas folhas e colmos, respectivamente, evidenciando que o Al foi acúmulo nas raízes das plantas. De modo geral, as concentrações de macro e micronutrientes variaram com os tratamentos e cultivares, porém sem valores altos e baixos extremos. Concluiu-se que a cultivar IACSP95-5000 tem maior potencial de produção em resposta à aplicação de calcário e que a saturação de alumínio de 29% não apresenta efeito negativo sobre a produção de matéria seca, exceto da cultivar IACSP95-5000, e estado nutricional das cultivares de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Alumínio. *Saccharum spp.* Concentração de nutrientes.

ABSTRACT

MANARELLI, F. **Nutritional status of sugarcane cultivars in function of the application of limestone or gypsum in soil.** 42 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

The agricultural field for the cultivation of sugarcane are concentrated in areas of Cerrado, which are acidic soil with high aluminum saturation and low base saturation. For the correction of these characteristics, the use of correctives and fertilizers are needed. Although in acid soils the aluminum toxicity is one of the most serious limitations to the plant growth, there is a lack of studies on the effects of aluminum on sugarcane crop. Based on this, the object of this work was to evaluate the effect of application of limestone or gypsum on the nutritional status of four cultivars of sugarcane, with different nutritional requirement, at the tillering stage of crop. A pot experiment was developed at greenhouse condition. Pots containing 4 kg of a soil, with 29% of aluminum saturation, as substrate were treated with: 1) limestone, 2) gypsum, and 3) control without lime and gypsum application. The IACSP95-5000, IACSP94-2094, SP80-3280, and IAC95-3028 cultivars were tested. After the addition of the treatments, the soil was incubated for 45 days. For plant materials, mini stem cuttings of cultivars were germinated, grown by 90 days and transplanted to pots, for the respective treatments. The plants were fertilized with macro and micronutrients and cultivated along 60 days. The treatments were characterized with regard to chemical attributes for fertility assessment, both after soil incubation and after collecting plants. In plants, chlorophyll, flavonoids, nitrogen balance index (NBI), aluminum and nutrient concentrations, and production of total, leaf, stem and root dry matter were evaluated. While the gypsum treatment did not differ from the control, the limestone treatment was effective for the correction of soil reaction, with increasing the pH value and base saturation, and lowering the aluminum saturation and total acidity, besides increasing the levels of Ca and Mg. In plants, for all cultivars, the contents of chlorophyll, flavonoids and NBI were improved by limestone treatment, comparing to control and gypsum. Generally, the IACSP95-5000 cultivar had higher total plant parts dry matter production, following by IACSP35-3028 with an intermediate production, and by IACSP94-2094 and SP80-3280 with lower production. For treatments, there was no effect of limestone and gypsum on the production of leaf dry matter, however limestone increased the dry matter production of stem and root by IACSP95-5000. Regardless of treatment, the cultivars showed aluminum concentration greater than 5000 mg kg⁻¹ in the roots, and less than 360 and 160 mg kg⁻¹, respectively, in leaves and stems, showing that the Al was accumulated in the roots of plants. In General, the concentrations of macro and micronutrients varied with the treatments and cultivars, however without extreme high and low values. It was concluded that the cultivar IACSP95-5000 has greater potential production in response to the limestone application, and that the aluminum saturation of 29% poses no negative effect on dry matter production, except of the cultivar IACSP95-5000, and on nutritional status of the studied sugarcane cultivars.

Keywords: Aluminum. *Saccharum spp.* Nutrient concentration.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição e concentração da solução nutritiva aplicada nas mudas durante o período de brotação e crescimento.....	18
Tabela 2. Resultados das análises para caracterização química do substrato.....	19
Tabela 3. Resultados para caracterização química do substrato quanto aos micronutrientes .	19
Tabela 4. Resultados das análises para caracterização física do solo	19
Tabela 5. Resultados das análises do substrato para avaliação dos atributos químicos do solo em função da aplicação dos tratamentos (45 dias de incubação) e após o transplante das mudas	23
Tabela 6. Resultados dos índices de clorofila, flavonoides e NBI em em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	26
Tabela 7. Produção de matéria seca por cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	26
Tabela 8. Concentração de alumínio (mg/kg) em cultivares de ana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	29
Tabela 9. Concentração de nitrogênio (g/kg) em cultivares de cana-e-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	30
Tabela 10. Concentração de fósforo (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso.....	31
Tabela 11. Concentração de calcio (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	32
Tabela 12. Concentração de enxofre (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	33

Tabela 13. Concentração de magnésio (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	34
Tabela 14. Concentração de manganês (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	35
Tabela 15. Concentração de ferro (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	36
Tabela 16. Concentração de cobre (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	37
Tabela 17. Concentração de zinco (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	38
Tabela 18. Concentração de boro (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso	39

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3 OBJETIVO	17
3.1 OBJETIVO GERAL.....	17
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	18
4.1 Experimento.....	18
4.2 Avaliações das plantas e substrato	21
4.3 Delineamento experimental	21
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
5.1 Resultados das análises de solo.....	22
5.2 Resultados das análises de planta.....	25
5.2.1 Avaliações dos índices de clorofila, flavonoides e NBI	25
5.2.2 Matéria seca de folhas, colmo e raízes.....	26
5.2.3 Resultados das concentrações de alumínio, macro e micronutrientes nas folhas, colmos e raízes	28
6 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	41

1 INTRODUÇÃO

O Brasil não é só o maior produtor de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) do mundo, seguido por Índia e China, como também de açúcar e etanol a partir da cultura (CONAB, 2014). As unidades produtoras colheram cerca de 690 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra 2014/2015, em quase 10 milhões de hectares. Cerca de 51% das áreas estão concentradas no estado de São Paulo, seguido por Minas (9,4%), Goiás (8,9%), Paraná (6,7%), Mato Grosso do Sul (6,5%) e Alagoas (4,8%), os outros estados produtores respondem por 12,7% das áreas cultivadas (UDOP, 2015). A produtividade final dos canaviais para a safra 2014/15 chegou a 71,308 kg/ha, apresentando uma queda próxima de 4,6% em relação às 74,769 kg/ha registradas na safra 2013/14. Este decréscimo na produtividade se concentrou na Região Sudeste, onde as precipitações pluviométricas ficaram abaixo do normal desde o final do ano de 2013, o que refletiu no desenvolvimento da cultura, tanto na fase de rebrota, quanto no crescimento, prejudicando o perfilhamento da cultura e o desenvolvimento dos colmos. A queda no rendimento agrícola para a região foi de 9,6%, chegando a atingir 10,5% no estado de São Paulo (CONAB, 2014).

A variação climática tem feito com que a produtividade dos canaviais varie de safra para safra e, para atender a demanda doméstica e internacional e recuperar as perdas da safra atual, se faz necessária a expansão do cultivo de cana-de-açúcar para áreas do oeste paulista, cerrado de Goiás, Triângulo Mineiro e Mato Grosso do Sul, as quais são regiões ocupadas predominantemente pelo Bioma Cerrado, que é caracterizado por inverno seco e deficiência hídrica bastante pronunciada. Associada a isso, a maior limitação ao uso dessas áreas é a associação entre a alta acidez (baixo pH e altas saturações de alumínio tóxico) com baixa fertilidade natural dos solos. A toxicidade por alumínio interrompe o desenvolvimento do sistema radicular, afetando principalmente a região apical da raiz, inibindo o alongamento celular (KOCHIAN, 1995) e conseqüentemente a absorção de água e nutrientes pela planta, limitando a produtividade agrícola da parte aérea. Embora os solos ácidos sejam corrigidos com calcário, esta se dá apenas nas camadas mais superficiais, o que deixa a subsuperfície ácida e com alumínio tóxico. Nestas condições, as culturas de sequeiro ficam particularmente suscetíveis a déficit hídrico, ao mesmo tempo em que reduzem a necessidade de replantio da cultura devido à alta acidez característica destas áreas (MORELLI et al., 1987).

A correção da acidez do solo para a cana-de-açúcar, pelo uso do calcário, não é ainda um assunto resolvido, considerando ainda o uso do gesso para o melhoramento do subsolo. Parte-se do princípio de que, para a cana-de-açúcar, a acidez seria menos importante, por esta

cultura ser considerada bastante tolerante à acidez, bastando somente o suprimento de cálcio em baixas quantidades e magnésio, como nutrientes. Por outro lado, por se tratar de uma planta que permanece por longo período no mesmo lugar, podendo receber em média cinco cortes, a prescrição da calagem deve levar em conta, também, a acidificação do solo que irá ocorrer ao longo dos anos, devido principalmente ao uso de doses elevadas de fertilizantes (QUAGGIO; van RAIJ, 2008). Vale ressaltar que a calagem é realizada no plantio e/ou renovação do canavial, procurando-se elevar a saturação por base para 60% e que os solos tornam a ficar ácidos após o terceiro corte.

A acidificação dos solos ocorre devido a lixiviação de cátions básicos solúveis (Ca, Mg e K) e/ou devido a remoção pelas colheitas, com posterior substituição por cátions ácidos (H +Al) no complexo de troca catiônica (ZIGLIO et al., 1999). Os íons H⁺ tem preferência na adsorção aos coloides do solo em razão de sua ligação covalente, seguido pelo íon Al⁺³. Com isso, o Al⁺³ permanece no solo e os demais cátions tendem a serem lixiviados (BOHNEN, 2000), ocorre uma diminuição no valor de pH do solo e elevação da saturação por Al⁺³ (RAIJ, 1991). Além disso, o problema é acentuado pelo próprio cultivo em razão da absorção de cátions pelas plantas que liberam quantidades equivalentes do íon H⁺, mecanismo utilizado pela célula para manter seu equilíbrio eletrostático (Malavolta, 1984).

Levando em conta o cenário da última safra de cana, onde houve queda da produtividade em função da baixa precipitação pluviométrica, combinado às características restritivas dos ambientes de produção atuais e de expansão da cultura, as tentativas de conter a queda da produtividade com as sucessivas colheitas se revestem de grande importância. O aumento na longevidade do canavial tem sido uma meta importante a ser atingida pelos produtores, onde a aplicação de corretivos e fertilizantes associado ao uso de cultivares tolerantes ao alumínio tóxico se faz necessária para minimizar o declínio progressivo da produção, que com o passar dos cortes culminará com a necessidade de renovação da área, que é uma das fases mais onerosas do sistema produtivo (FOLTRAN, 2008).

Como ocorre com outras plantas cultivadas, ainda não há uma distinção entre cultivares quanto ao grau susceptibilidade à solos ácidos ou até mesmo uma metodologia adequada para seleção desses materiais. A tolerância e/ou resistência ao alumínio são tipicamente e extensivamente estudados usando experimentos hidropônicos. Porém, ao contrário das situações de solo, este método não aborda todos os componentes nutricionais que são necessários para o bom crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e conseqüentemente da parte aérea. As diferentes composições químicas de soluções nutritivas conferem uma dificuldade na comparação de plantas em resposta ao alumínio tóxico.

Adicionalmente, a forma ativa do alumínio que é tóxica ao crescimento radicular é a forma Al^{3+} , então qualquer alumínio que precipita em solução, não causa efeito no crescimento radicular (KOCHIAN et al., 2004). Em uma solução hidropônica, o alumínio pode ser encontrado em uma das quatro formas: (1) como Al^{3+} livre, onde sua atividade irá inibir o crescimento de raiz; (2) precipitado com outros elementos e essencialmente indisponível para inibir o crescimento de raiz e conseqüentemente da planta; (3) diferentes monômeros hidroxil, que não são considerados por inibir o crescimento radicular (PARKER et al, 1988); ou (4) complexado com outros elementos em um equilíbrio entre o estado ativo e inativo. Portanto, o grau em que o alumínio inibe o crescimento é primariamente dependente de sua atividade como íon Al^{3+} em solução (KOCHIAN et al., 2004).

Estabelecer um protocolo para avaliar a resposta da cana-de-açúcar ao alumínio tóxico no solo com a garantia do suprimento nutricional adequado é de tal importância para seleção de cultivares contrastantes para a sua tolerância/resistência, pois a compreensão de como o alumínio afeta o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e posteriormente parte aérea e os mecanismos associado a isto, podem auxiliar os programas de melhoramento tradicionais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O alumínio é um constituinte natural do solo, sendo que a maior parte está presente na fase sólida como aluminossilicatos ou óxidos e hidróxidos (SPOSITO, 1996). De todos os atributos químicos, a toxidez por Al é uma das principais barreiras químicas ao aprofundamento e a capacidade de absorção de água e nutrientes do sistema radicular, sendo muitas vezes a causa da baixa produtividade (SOBRAL; GUIMARÃES, 1992). O alumínio sofre hidrólise dependente de pH, de modo que espécies solúveis como Al^{3+} , $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Al}(\text{OH})_2^+$ predominam em condições ácidas ($\text{pH} < 5,0$) e espécies insolúveis como $\text{Al}(\text{OH})_3$ predominam em valores de pH mais elevados (DELHAIZE; RYAN, 1995).

Uma vez que a planta entra em contato com o Al, este se acumula preferencialmente no sistema radicular, interferindo na divisão e expansão celular das raízes e retardando seu crescimento e desenvolvimento. Com isso as raízes tornam-se pouco eficientes na absorção de água e de nutrientes (FOY, 1978; KOCHIAN, 1995). Assim, os sintomas podem se manifestar na forma de deficiência de nutrientes essenciais, como cálcio, magnésio, ferro, zinco e molibdênio (SCHOLL et al., 2005; GUO et al., 2007).

O Al^{3+} pode ser transportado para parte aérea através do xilema (WOLTERBEEK; DIE, 1980), afetar a atividade fotossintética (OHTAGAKI et al., 1996), provocar fechamento estomático (RIDOLFI; GARREC, 2000), peroxidação lipídica e induzir o aumento da atividade de enzimas antioxidantes (KUO; KAO, 2003), causar mudanças na atividade de enzimas relacionadas com a assimilação de carbono (CHEN et al., 2005) e reduzir a biossíntese de clorofila (ZHANG, 2007). Causa redução na matéria seca, altura e no diâmetro das plantas (PEIXOTO et al., 2007). Com estas restrições no crescimento, têm menor produtividade, principalmente em regiões onde ocorrem períodos de estiagem (veranicos) durante o seu cultivo (SOUSA; MIRANDA; OLIVEIRA, 2007).

Assim, para aliviar os efeitos negativos da acidez do solo e da disponibilidade de Al deve-se efetuar a correção ou melhoria das condições químicas do solo e/ou o uso de genótipos mais tolerantes, sendo que o mais indicado é o uso combinado das duas abordagens. A estratégia mais comumente utilizada é a correção do pH do solo através da calagem ou melhoria dos níveis de cálcio através da gessagem, que consistem na aplicação e incorporação de calcário ou gesso agrícola no solo. A calagem promove o aumento do pH e/ou da saturação por bases, fornece Ca e Mg, torna diversos nutrientes mais disponíveis e promove a precipitação do Al (SCHUMANN ET AL., 1999; QUAGGIO, 2000). Por outro lado, o gesso agrícola apresenta maior mobilidade no perfil do solo, melhora a fertilidade do solo por

permitir um importante suprimento de cálcio em profundidade, o aprofundamento do sistema radicular de cana-de-açúcar e uma maior exploração dos nutrientes e água disponíveis no solo (SOUSA et al., 2001). No entanto, estes procedimentos apresentam limitações devido a razões agronômicas, econômicas e ambientais, e geralmente é limitada a camadas mais superficiais, de cerca de 20-30 cm de profundidade, de modo que as camadas subsuperficiais continuam ácidas e com níveis tóxicos de Al, inibindo um maior aprofundamento do sistema radicular.

No caso da cana-de-açúcar, a incorporação do calcário é realizada por ocasião do plantio, o que ocorre a cada cinco ou seis anos. No entanto, com o decorrer do tempo, ocorre redução no pH e da saturação por bases (V%) nestes solos, principalmente nos solos de textura mais leve (LANDELL, 1989). Isto resulta em quedas na produção e menor intervalo entre replantios, podendo representar custos elevados ao produtor. Independente destes aspectos, já foi demonstrado que a acidez de subsuperfície afeta a produtividade da cana-de-açúcar (LANDELL et al., 2003). Pela indicação da cultura, recomenda-se que se faça a correção do subsolo através da utilização de gesso agrícola, quando a saturação por alumínio (m%) for igual ou maior que 40. Em trabalho realizado em campo, o alumínio e a saturação por alumínio mostraram correlações significativas (negativas) na camada B, mostrando que quanto maior a acidez presente no solo, mesmo em profundidade, menor será a produtividade da cultura (DIAS et al., 1999). Isso se deve ao fato de que os atributos de subsuperfície são críticos no estudo do desenvolvimento da cana-de-açúcar em diferentes ambientes, pois é o horizonte mais explorado pelo sistema radicular da cultura.

Assim, o uso de genótipos tolerantes com capacidade para emitir raízes em subsolos com Al em níveis tóxicos é uma alternativa muito importante dentro das estratégias de manejo da cultura da cana-de-açúcar em solos ácidos, e está intimamente associada a melhores desempenhos em condições de déficit hídrico. Embora ainda sejam poucos os trabalhos que examinaram a tolerância de cana-de-açúcar ao Al, pode-se constatar que existe variabilidade genética quanto a esta característica.

É evidente que a identificação e caracterização de cultivares de cana-de-açúcar quanto a sua tolerância ao Al é uma necessidade relevante e premente. O ideal é que esta avaliação fosse realizada continuamente nos programas de melhoramento desta cultura. Embora não seja um processo muito difícil ou complexo, a avaliação da tolerância ao Al em cana-de-açúcar não é tão simples quanto em culturas anuais como os cereais. Quando comparado com estes últimos, requer mais tempo, trabalho e espaço de casa de vegetação, além de maiores volumes de solução nutritiva.

Tendo em vista que o sítio primário de ação fitotóxica do Al localiza-se na parte distal da zona de transição do ápice das raízes (RYAN et al., 1993), o estudo do mecanismo de toxicidade do Al, bem como dos mecanismos de defesa da planta, tem sido focado na interação do íon com componentes celulares do ápice radicular. O Al induz alterações na arquitetura do sistema radicular, conduz a alterações morfológicas, como o engrossamento e encurtamento das raízes, deixando-as com aspecto quebradiço, desenvolvimento de cor castanha na região apical, reprimindo o crescimento das laterais e conduzindo à formação de sistemas radiculares com menor área e volume (DELHAIZE, 1995).

Com relação aos mecanismos de tolerância, as plantas exibem vários mecanismos para superar os efeitos do Al tóxico no solo, os quais podem ser divididos em dois grandes grupos de estratégia:

a) Mecanismos de exclusão (resistência): impedem o Al de alcançar seus sítios de toxicidade na planta, e o mesmo é excluído das células e dos tecidos da planta, em especial, da porção simplástica e do ápice radicular. Estes mecanismos são baseados na detoxificação do Al do apoplasto e na rizosfera por meio da formação de quelatos de íons não tóxicos com quelantes secretados pelos ápices das raízes, ou pela alcalinização do apoplasto apical e da rizosfera (KOCHIAN et al., 2004). A alcalinização pode ocorrer pela elevação do pH da rizosfera; da síntese de mucilagem no ápice radicular e a síntese e exsudação de polipeptídeos; ou o efluxo de ácidos orgânicos e ânions das raízes, ativado pelo Al. A exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular é um mecanismo bem estabelecido para diversas espécies vegetais. A “hipótese do malato” propõe que o malato secretado ligue-se ao Al em uma forma atóxica protegendo a raiz dos danos (DELHAIZE et al., 2004).

b) Mecanismos internos (tolerância): as plantas toleram o íon Al^{3+} no simplasto, possibilitando a penetração do Al no interior das células, mas onde têm sua ação fitotóxica neutralizada por sistema de detoxificação no simplasto. Entre estes mecanismos, pode ser citada a ação de polipeptídeos do citoplasma como moléculas quelantes; a existência de enzimas tolerantes cuja atividade não é prejudicada pelo Al; e a eliminação do Al do ambiente celular por compartimentalização em vacúolos e depósito na parede celular (WENZL et al., 2001).

3 OBJETIVO

3.1 OBJETIVO GERAL

O objeto deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de calcário e gesso, em amostra de solo com saturação por alumínio de 29%, sobre o estado nutricional de quatro cultivares de cana-de-açúcar, distintas quanto à exigência nutricional, na fase de perfilhamento da cultura.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar os atributos químicos de fertilidade do solo em função de: (1) aplicação dos tratamentos nas amostras de solo e (2) influência das cultivares após o término do experimento;
- Avaliar os índices de clorofila, flavonoides e índice do balanço do nitrogênio (NBI) nas folhas de cana-de-açúcar;
- Determinar a produção de matéria seca das distintas partes da planta (folha, colmo e raiz);
- Determinar a concentração de alumínio nas raízes, colmo e folhas;
- Avaliar o estado nutricional das plantas em função da aplicação dos tratamentos no solo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Experimento

As cultivares foram escolhidas levando-se em consideração a exigência quanto à fertilidade do solo. Os colmos das cultivares IACSP94-2094, IACSP95-3028, IACSP95-5000 e SP80-3280 foram fornecidos pelo Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar do Centro de Cana do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Ribeirão Preto, SP.

Após 24h da coleta dos colmos, os mesmos foram cortados em tamanhos de aproximadamente 5cm, na região do entrenó. Os mini-toletes de gema única foram plantados em bandejas contendo vermiculita expandida de granulometria média, onde permaneceram durante 90 dias sem restrição hídrica e nutricional. Para a nutrição das mudas durante o período, foi feita a aplicação de solução nutritiva, de acordo com a tabela a seguir:

Tabela 1. Composição e concentração da solução nutritiva aplicada nas mudas durante o período de brotação e crescimento

Macronutrientes	[mM] sal
KH ₂ PO ₄	1
MgSO ₄	1
K ₂ SO ₄	0.250
CaCl ₂	0.250
NH ₄ NO ₃	2
Na-Fe-EDTA	0.1
Micronutrientes	[μM] sal
KCl	50
H ₃ BO ₃	30
MnSO ₄	5
ZnSO ₄	1
CuSO ₄	1
NaMoO ₄	0.7
KOH	pH 5.8

O local de coleta do substrato (solo) para condução do experimento foi escolhido com o objetivo de termos uma saturação de alumínio (m%) que possa induzir toxicidade em cana-de-açúcar. Após a amostragem em 3 locais distintos, indicados por terem possivelmente m% desejada, as amostras foram enviadas ao Laboratório Agrotécnico de Piracicaba para caracterização química das mesmas e, o local de coleta escolhido foi portanto, no município de Piracicaba cuja coordenadas geográficas são: 22°43'37.1" S 47°33'10.5" W, sendo um Argissolo vermelho-amarelo.

Foi coletado aproximadamente 400kg de solo na profundidade de 30-150cm e este foi: seco ao ar, peneirado em malha de 3mm, homogeneizado, amostrado (amostragem de quatro amostras simples) para caracterização química e física do substrato (solo) (Tabela 2;3;4) e 36 vasos de 5L de volume foram preenchidos com 4kg de substrato.

Tabela 2. Resultados das análises para caracterização química do substrato

ANÁLISE QUÍMICA DO SOLO													
Amostra	pH	M.O	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	S.B.	CTC	V%	m%	S
	CaCl ₂		resina										SO ₄
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³								mg dm ⁻³	
1	4,6	9	3	0,3	8	2	34	4	10	44	23	28	35
2	4,6	7	5	0,3	8	2	34	4	10	44	23	28	29
3	4,6	9	3	0,3	7	2	38	4	9	47	20	30	39
4	4,6	11	3	0,3	8	2	38	4	10	48	21	28	28

Tabela 3. Resultados para caracterização química do substrato quanto aos micronutrientes

ANÁLISE DE MICRONUTRIENTES						
Amostra	Cu	Fe	Zn	Mn	B	
	DTPA					(água quente)
	mg/dm ³					
1	0,2	5	0,2	1,2	0,29	
2	0,2	5	0,2	1,1	0,32	
3	0,3	5	0,2	1,5	0,18	
4	0,3	4	0,2	1,2	0,24	

Tabela 4. Resultados das análises para caracterização física do solo

Amostra	Argila	Silte	Areia Total	Areia Grossa	Areia Fina
	<0,002mm	0,053-0,002mm		2,00-0,210mm	0,210-0,053mm
	g/kg				
1	664	86	250	80	170
2	665	85	250	70	180
3	674	76	250	90	160
4	683	77	240	80	160

Foram estabelecidos três tratamentos como o substrato: (1) sem adição de qualquer corretivo; (2) com adição de gesso e; (3) com adição de calcário.

- (1): neste tratamento, a toxicidade em cana-de-açúcar será induzida pela acidez total presente no substrato, ou seja, toxicidade tanto por íons H^+ quanto por Al^{3+} , estabelecido como tratamento CONTROLE;
- (2): este constitui na aplicação de gesso, pois ocorre a complexação do Al^{3+} pelo SO_4^{2-} , formando um composto não tóxico em decorrência da formação de $AlSO_4^+$, este tratamento foi estabelecido com GESSO;
- (3) já a aplicação de calcário é responsável pelo aumento da saturação por bases, diluindo a acidez total do solo e, conseqüentemente, não se tem toxicidade não plantas induzidas por ambos os íons, estabelecido como tratamento CALCÁRIO;

Após o enchimento dos vasos com substrato (solo original), aplicaram-se os tratamentos (2 e 3), onde para gesso adotou-se o método do teor de argila e para calcário o método da saturação por bases (V%), com o objetivo de alcançar 60%. Portanto, para gesso, o aplicado foi 4029 kg ha^{-1} e para calcário $1,944 \text{ t ha}^{-1}$ onde o PRNT do calcário aplicado é de 90%.

Todos os vasos foram incubados por aproximadamente 45 dias, através da rega, mantendo-se o nível de água no solo em 80 % da capacidade de campo. Para tanto, foi utilizado o método direto em vasos (MD), no qual é considerado como capacidade de campo (cc) o conteúdo de água retido pelo solo do vaso, após sofrer saturação, sendo calculado diariamente por diferença de pesagem. Isto foi feito também, diariamente, após o transplante das mudas até o término do experimento. Após este período, as mudas foram selecionadas quanto à homogeneidade de tamanho e sanidade e transferidas para os vasos com o substrato de cada tratamento, sendo uma planta por vaso.

Para a adubação das mudas, foi através do fornecimento dos elementos nas seguintes doses (ppm): 150 N, 150 P, 15 Mg, 50 S, 0,5 B, 1,5 Cu, 5 Fe, 0,1 Mo e 5 Zn. As doses de N e K foram parceladas em duas vezes, aplicando-se a primeira parcela na ocasião de transplante das mudas e a segunda após 15 dias do transplante (MALAVOLTA, 1980).

Antes da coleta das plantas, foram feitas as avaliações quanto aos índices de concentração de: clorofila, flavonoides e NBI (unidades DUALEX). O fluorímetro Dualex (FORCE-A, Orsay, France) é um clipe foliar que permite medidas de forma precisa e simultânea do conteúdo de clorofila em folhas e de flavonoides na sua epiderme. Para o índice NBI, sabe-se que os flavonoides são indicadores do estado no nitrogênio nas plantas. Portanto, quando uma planta está sob condições favoráveis, ela favorece o metabolismo

primário (ex.: síntese de proteínas, clorofila e de alguns flavonoides (compostos secundários)). No caso de deficiência de nitrogênio, a planta direciona o metabolismo para a produção elevada de flavonoides. Portanto, a razão clorofila/flavonoides é dada pelo Dualex, como o balanço do nitrogênio na planta: NBI.

Aos sessenta dias após o transplante das mudas as plantas foram coletadas.

4.2 Avaliações das plantas e substrato

No final do período experimental (60 dias) foi determinada a matéria seca: a planta foi cortada ao nível do solo para a separação da parte aérea (folhas + colmo) e raiz (o substrato foi peneirado para a separação das raízes). Posteriormente foram lavadas com água deionizada, acondicionadas em sacos de papel e os quais foram levados à estufa a 65°C por 2 dias, obtendo-se assim, a massa seca da parte aérea (folha e colmo) e das raízes.

Para determinação da concentração de macro, micronutrientes e alumínio tanto em raiz como em parte aérea, as amostras foram moídas e o extrato para leitura foi obtido por digestão nítrico-perclórica e as determinações analíticas foram feitas por Espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) (Malavolta, 1997).

O substrato foi avaliado quanto aos atributos químicos, sendo que para o substrato após incubação (45 dias) foram feitas três amostragens de cada tratamento. Já para o substrato após o período de experimento (60 dias), foram feitas amostragens de todos os tratamentos e de todos os vasos (36 no total). As amostras foram enviadas ao Laboratório Agrotécnico de Piracicaba.

4.3 Delineamento experimental

Os experimentos foram realizados em casa de vegetação sob condições controladas. O experimento foi em Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) em esquema fatorial 4x3, sendo quatro genótipos de cana-de-açúcar e três solos, com 3 repetições. A análise estatística dos dados foi realizada pela análise de variância, ANOVA, seguida por testes de comparação de média pelo teste de Tukey, com nível de significância de 0,05.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Resultados das análises de solo

Pode-se observar que no tratamento calcário o pH do solo alterou de 4.6 para 5.8, aos 45 dias de incubação, e este diferenciou-se significativamente em relação ao tratamento controle (sem adição de gesso e calcário) e tratamento com adição de gesso, ao nível de 1% de probabilidade (Tabela5). Aos 60 dias, após o transplante das mudas de cana-de-açúcar, o pH do solo apresentou valores absolutos iguais ao encontrado aos 45 dias de incubação para o tratamento com uso de gesso e calcário. Embora, a aplicação de gesso contribua para favorecer diferentes reações químicas no solo, como dissociação em Ca^{+2} , SO_4^{-2} e CaSO_4^0 , este não provoca alteração do pH do solo. A nível global a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é considerada a mais adequada para a maioria das culturas agrícolas, no entanto no Brasil, mais comumente, utiliza-se a faixa de pH entre 5,7 e 6,0 (SOUSA et al., 2007).

Os teores de matéria orgânica não diferenciaram-se significativamente entre os tratamentos com aplicação de gesso, calcário e o tratamento controle, aos 45 e 60 dias de incubação e experimento, respectivamente (Tabela5). Os valores absolutos da matéria orgânica do solo apresentou valor próximo de 9 g dm^{-3} .

A adição de calcário aumentou a disponibilidade de fósforo no solo aos 45 dias de incubação e teve diferença significativa em relação ao tratamento controle, ao nível de 5% de probabilidade, com valor de $5,3 \text{ mg dm}^{-3}$, no entanto, para a cultura da cana este valor é considerado muito baixo (RAIJ et al., 1997). Este resultado pode ser explicado porque a adição de calcário contribuiu para aumentar o pH do solo e o fósforo fica mais disponível quando aumenta-se pH, com maior disponibilidade próximo de 6,5.

A fertilização mineral com fósforo nos tratamentos controle, gesso e calcário aos 60 dias após o tratamento, mostrou que os valores disponíveis de P no solo não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos (Tabela5), além disso, os valores de P disponível no solo estão na faixa considerada baixa (RAIJ et al., 1997).

Tabela 5. Resultados das análises do substrato para avaliação dos atributos químicos do solo em função da aplicação dos tratamentos (45 dias de incubação) e após o transplante das mudas

Situação	Trat.	pH	MO	P _{resina}	K ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	H ⁺ +Al ⁺³	Al ⁺³	SB	CTC	V%	m%
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----								
Caract.	-	4.6	9.0	3.5	0.3	7.8	2.0	36.0	4.0	10.1	46.1	21.9	28.5
Após 45 dias de incubação	Controle	4.4b	9.0ns	3.7B	0.3ns	8.3b	2.7b	35.7a	5.3a	11.2b	46.9a	23.9b	32.0a
	Gesso	4.5b	9.0ns	4.3AB	0.4ns	9.7b	3.3b	35.0a	6.3a	13.4b	48.4a	27.6b	32.2a
	Calcário	5.8a	8.7ns	5.3A	0.5ns	19.0a	5.7a	16.3b	1.0b	25.2a	41.5b	60.7a	3.8b
Após 60 dias de experimento	Controle	4.3b	9.3ns	7.3ns	0.7ns	9.3b	3.0ns	28.3a	4.7a	13.0b	41.4ns	31.5b	26.6a
	Gesso	4.5b	9.3ns	8.7ns	0.8ns	8.0b	4.3ns	27.0a	4.0a	13.1b	40.1ns	32.8b	23.2a
	Calcário	5.8a	9.0ns	9.0ns	0.8ns	16.0a	5.0ns	15.0b	0.7b	21.8a	36.8ns	59.3a	3.0b

* são apresentadas as médias das quatro amostras iniciais para fim de caracterização; letra minúscula 1% de probabilidade e maiúscula 5% de probabilidade; as análise estatística da interação substrato x cultivar não apresentou diferença significativa

Os resultados para a disponibilidade de potássio no solo mostram que entre os tratamentos não ocorreu diferença significativa nas respectivas épocas de avaliação, aos 45 dias e 60 dias de incubação e transplante, respectivamente (Tabela5), no entanto, foi observado que em valores absolutos, a disponibilidade de potássio aumentou no período de avaliação aos 60 dias após o transplante das mudas. A explicação para esse aumento deve-se ao efeito da fertilização mineral com K que foi adicionado em todos os tratamentos.

A disponibilidade de cálcio no solo para o tratamento com aplicação de calcário mostra diferença significativa em relação aos tratamentos controle e ao tratamento com uso de gesso, nas respectivas épocas de estudo (Tabela5).

O efeito da aplicação de calcário aos 45 dias de incubação mostra que a disponibilidade de Mg foi diferente em relação ao tratamento controle e tratamento com o uso de gesso, no entanto, aos 60 dias após o transplante das mudas não diferiu-se significativamente (Tabela 5). A interpretação para esses resultados pode ser devido à extração de Mg pelas cultivares de cana-de-açúcar.

A acidez total, composta pela acidez trocável e não-trocável, no tratamento com aplicação de calcário foi diferente em comparação ao tratamento controle e com aplicação de gesso, nos dois períodos de avaliação, respectivamente (Tabela5). A interpretação para esses resultados pode ser explicada devido à redução da acidez do solo, que ocasiona a insolubilização de íons de alumínio e a diminuição da competição do H^+ com outros cátions do solo, como Ca^{+2} e Mg^{+2} , que contribui para a redução de toxidez as plantas.

O teor de alumínio, representado pelo Al^{+3} trocável, no tratamento com calcário diferenciou-se dos resultados encontrados nos tratamentos controle e com uso de gesso, aos 45 e 60 dias de incubação e transplante das plantas, respectivamente (Tabela5). Na fertilidade do solo a concentração elevada de Al^{+3} pode apresentar efeitos tóxicos à planta e reduzir a disponibilidade de outros nutrientes, como redução do sistema radicular e a solubilidade de fosfatos no solo, respectivamente (SOUSA et al., 2007).

No tratamento com aplicação de calcário observa-se que a SB foi diferente em relação aos tratamentos controle e com uso de gesso, nas duas épocas de análise química do solo (Tabela5), isso pode ser explicado porque o teor de cálcio no tratamento com calcário foi maior que nos outros dois tratamentos.

A CTC no tratamento com calcário foi diferente em relação aos tratamentos com gesso e controle apenas aos 45 dias de incubação do solo (Tabela5). A provável explicação de não ter ocorrido diferença entre os valores da CTC, aos 60 dias após transplante das plantas, nos

tratamentos do estudo pode ser devido a maior absorção de Al^{+3} pelas cultivares plantadas nos tratamentos controle e com aplicação de gesso, respectivamente.

A saturação por bases no tratamento com aplicação de calcário foi diferente em comparação aos tratamentos controle e com gesso no período de 45 e 60 dias de incubação do solo e transplantes da mudas, respectivamente (Tabela5), isso ocorreu devido à redução nos teores da acidez total do solo, ocasionado por causa do efeito da aplicação de calcário.

A m% no tratamento com aplicação de calcário foi diferente em comparação aos tratamentos controle e com gesso no período de 45 e 60 dias de incubação do solo e transplantes da mudas, respectivamente (Tabela5), isso pode ser explicado porque o Al^{+3} nos tratamentos controle e com gesso foram maior que o Al^{+3} do tratamento com calcário.

5.2 Resultados das análises de planta

5.2.1 Avaliações dos índices de clorofila, flavonoides e NBI

Para os teores de clorofila, o maior teor foi no tratamento calcário, seguido por gesso e por fim controle. Para as médias entre as cultivares, houve diferença estatística, sendo a que apresentou maior valor foi a cultivar IACSP94-2094, seguida pela IACSP95-5000 e as cultivares SP80-3280 e IACSP95-3028 não se diferenciaram entre si. Para a análise de interação, as cultivares se comportaram de maneira similar nos tratamentos gesso e controle e já dentro do tratamento calcário a que se comportou melhor, foi a cultivar IACSP94-2094, apresentando portanto alta concentração de clorofila *a* e *b* quando comparada às outras cultivares.

Para a concentração de flavonóides, os menores valores foram observados no tratamento controle e não houve diferença significativa entre as cultivares. Para os resultados de interação dos fatores substrato x cultivar, os tratamentos gesso e calcário não diferiram entre si para as cultivares IACSP95-5000 e SP80-3280, seguidas por IACSP95-3028 e IACSP94-2094, respectivamente.

O índice NBI é dado pela razão entre clorofila:flavonóides, portanto quanto o maior teor de flavonóides, maior será a deficiência de nitrogênio na planta. Com base nisto, o tratamento controle foi o que mais influenciou no metabolismo secundário da planta, em resposta ao tratamento. A cultivar que melhor se comportou quanto à resposta aos tratamentos foi a IACSP94-2094 dentro da interação, seguida pela SP80-3280, IACSP95-3028 e por último IACSP95-5000.

Tabela 6. Resultados dos índices de clorofila, flavonoides e NBI em em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028	<i>média</i>
----- Clorofila $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -----					
Calcário	43,4 aC	53,6 aB	49,8 aAB	47,2 aBC	48,5 a
Gesso	33,4 bA	33,7 bA	32,4 bA	35 bA	33,6 b
Controle	25,8 cA	26,7 cA	26,2 cA	23,6 cA	25,6 c
<i>média</i>	34,2 B	38 A	36,2 AB	35,2 AB	
----- Flavonoides $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ -----					
Calcário	0,59 bA	0,48 cB	0,56 bA	0,58 bA	0,55 c
Gesso	0,64 bA	0,65 bA	0,63 bA	0,67 aA	0,65 b
Controle	0,85 aA	0,82 aAB	0,80 aAB	0,745 aB	0,80 a
<i>média</i>	0,7A	0,65B	0,67A	0,67A	
----- NBI unidade DUALEX -----					
Calcário	74,21 aC	112 aA	88,6 aB	81,8 aAC	90 a
Gesso	52,4 bA	51,5bA	51,5 bA	51,8 bA	51,8 b
Controle	30,5 cA	32,4 cA	32,6 cA	31,65 cA	31,8 c
<i>média</i>	52,4 b	65,3 ab	57,5 ab	55,1 b	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.2 Matéria seca de folhas, colmo e raízes

Os resultados de produção de matéria seca são apresentados para cada parte da planta (folhas, colmo e raiz) juntamente com a análise estatística (Tabela6) e matéria seca total (Tabela6; Figura1).

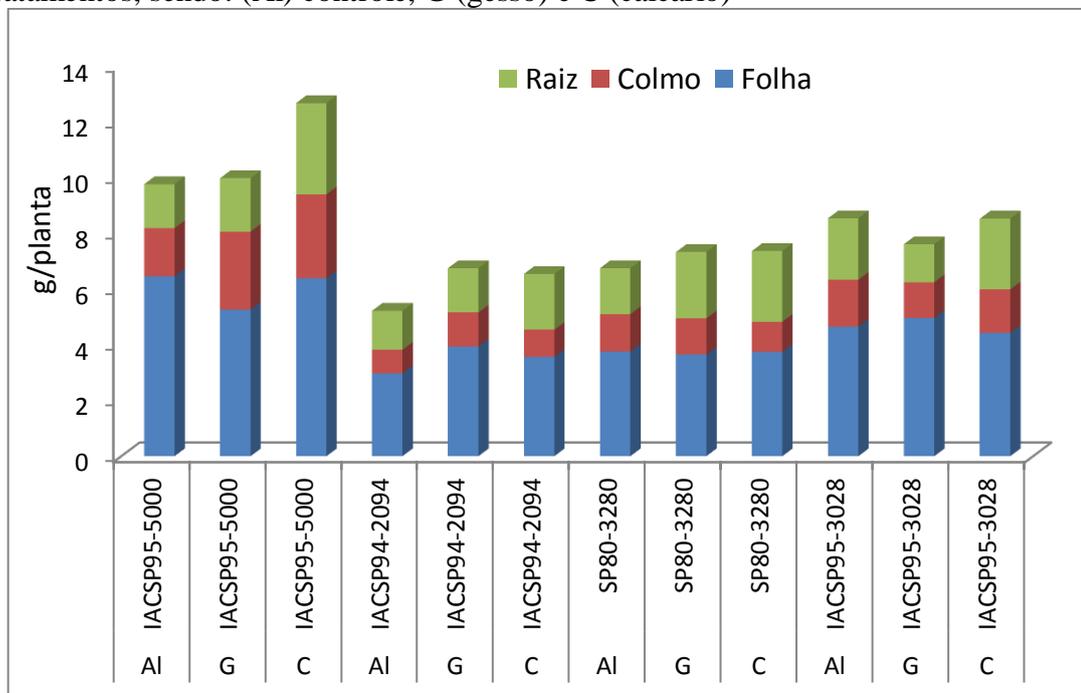
Tabela 7. Produção de matéria seca por cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028	<i>média</i>
----- Matéria seca de folha (gramas por planta) -----					
Calcário	6,38	3,98	3,52	4,42	4,58 a
Gesso	5,46	3,64	3,64	4,96	4,42 a

Controle	6,45	2,97	3,96	4,75	4,43 a
<i>média</i>	6,10 A	3,53 C	3,71 C	4,71 B	
----- Matéria seca de colmo (gramas por planta) -----					
Calcário	3,01 aA	0,92 aB	1,21 aB	1,56 abB	
Gesso	2,52 aA	1,22 aB	1,30 aB	1,28 bB	
Controle	1,72 bA	0,84 aB	1,29 aAB	2,08 aA	
----- Matéria seca de raiz (gramas por planta) -----					
Calcário	3,27 aA	1,93 aBC	1,56 aC	2,54 aAB	
Gesso	1,41 bAB	1,73 aAB	2,38 aA	1,36 bB	
Controle	1,58 bAB	1,40 aB	1,72 aAB	2,53 aA	
----- Matéria seca total (gramas por planta) -----					
Calcário	12,67 aA	6,83 aBC	6,29 aC	8,52 abB	
Gesso	9,39 bA	6,59 aB	7,32 aB	7,60 bAB	
Controle	9,76 bA	5,22 aB	6,97 aB	9,36 aA	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade.

Figura1. Valores médios absolutos de produção de matéria seca total em função da aplicação do tratamentos, sendo: (A) controle, G (gesso) e C (calcário)



As quantidades de matéria seca de folhas não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de substrato. O cultivar

IACSP95-5000 apresenta significativamente maior matéria seca foliar que os outros três cultivares.

Tanto no solo com calcário como com gesso, o cultivar IACSP95-5000 apresentou significativamente maior biomassa de colmo que os outros três cultivares. No solo controle, foram os cultivares IACSP95-5000, SP80-3280 e IACSP95-3028 os que apresentaram uma biomassa significativamente superior.

Considerando o tipo de cultivar, a biomassa de colmo do cultivar IACSP95-5000 foi maior no solo com calcário e com gesso que no controle. No caso dos cultivares IACSP95-3028-2094 e SP80-3280 não houve diferenças significativas na biomassa de colmo observada nos três tipos de solo. No cultivar IACSP95-3028, a maior biomassa teve lugar no solo controle e com calcário.

No solo com calcário os cultivares IACSP95-5000 e IACSP95-3028 tinham significativamente as maiores biomassas de raiz. No solo com gesso, os cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e SP80-3280 apresentaram as maiores biomassas. No solo controle foram os cultivares IACSP95-5000, SP80-3280 e IACSP95-3028 os que tinham as maiores biomassas radiculares. O cultivar IACSP95-5000 teve maior biomassa de raiz no solo com calcário. Os cultivares IACSP94-2094 e SP80-3280 apresentaram significativamente a mesma biomassa nos três tipos de solo. No cultivar IACSP95-3028, a maior biomassa radicular foi observada no solo controle e com calcário.

5.2.3 Resultados das concentrações de alumínio, macro e micronutrientes nas folhas, colmos e raízes

5.2.3.1 Alumínio

Nas folhas, a concentração de alumínio não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de solo. Os cultivares IACSP95-5000 e IACSP94-2094 apresentaram maior concentração de alumínio do que os cultivares 3 e 4. No colmo, a concentração de alumínio não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

Nas raízes, as concentrações de alumínio não tiveram diferenças significativas entre os cultivares crescidos no mesmo tipo de solo. Os cultivares IACSP95-5000, 3 e 4 também não tiveram diferenças significativas nas concentrações de Al radicular entre as plantas crescidas

nos diferentes tipos de solo. Apenas o cultivar IACSP94-2094 apresentou diferenças, tendo as concentrações mais elevadas nas plantas dos solos controle e com calcário.

Tabela 8. Concentração de alumínio (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Raiz - mg kg ⁻¹ -----				
Calcário	6574 aA	7441 abA	4812 aA	6869 aA
Gesso	7438 aA	5019 bB	7080 aA	6902 aA
Controle	6247 aA	8752 aA	7571 aA	6487 aA
----- mg kg ⁻¹ -----				
Folha	357 a	255 ab	140 b	140 b
Colmo	104 a	142 a	109 a	159 a
	Calcário	Gesso	Controle	
----- mg kg ⁻¹ -----				
Folha	256 a	175 a	241 a	
Colmo	147 a	133 a	106 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.2 Nitrogênio

No tratamento calcário cultivar IACSP95-3028, a concentração de nitrogênio foi significativamente maior nas folhas do que os outros três cultivares. No solo com gesso não houve diferenças significativas na concentração desse nutriente em folhas entre os quatro cultivares. No solo controle, os cultivares SP80-3280 e IACSP95-3028 apresentaram as maiores concentrações. Já IACSP95-5000 e IACSP94-2094 apresentaram maior concentração de nitrogênio nas folhas das plantas do tratamento controle e com gesso. O cultivar SP80-3280 teve maior concentração nas plantas no tratamento controle. No cultivar IACSP95-3028 não tiveram diferenças significativas entre os três solos.

As plantas crescidas no tratamento calcário com maior concentração de nitrogênio no colmo foram as dos cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e SP80-3280. No solo com gesso foram as do cultivar SP80-3280 e no solo controle as do cultivar IACSP95-5000.

As plantas do cultivar IACSP95-5000 não tiveram diferenças significativas na concentração de nitrogênio no colmo entre os distintos tipos de substrato. No cultivar IACSP94-2094, apresentaram maior concentração as plantas crescidas no tratamento calcário e gesso. No cultivar SP80-3280 foram as plantas no solo com gesso as que apresentaram a maior concentração de nitrogênio no colmo. No cultivar IACSP95-3028, as plantas no controle e com gesso apresentaram as maiores concentrações.

Tabela 9. Concentração de nitrogênio (g/kg) em cultivares de cana-e-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Folha - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	11,8 aA	12,5 aA	15,1 aA	15,0 aA
Gesso	12,2 aA	12,4 aA	12,3 bB	14,2 aB
Controle	9,0 bB	9,5 bB	10,0 bB	16,6 aA
----- Colmo - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	21,6 aA	18,2 bB	8,5 cD	14,6 abC
Gesso	21,2 aB	20,0 abB	26,1 aA	16,1 aC
Controle	20,5 aA	22,4 aA	20,9 bA	12,9 bB

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.3 Fósforo

Tanto no calcário como gesso, a concentração de fósforo em folhas foi maior nos cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e SP80-3280 do que no cultivar IACSP95-3028. No solo controle não houve diferenças significativas ente os três cultivares.

O cultivar IACSP95-5000 teve maior concentração de fósforo nas folhas nos tratamentos calcário e gesso. Entre os cultivares IACSP94-2094 e SP80-3280 e IACSP95-3028 não houve diferenças significativas nas concentrações entre as plantas crescidas nos três tipos de substrato.

Tanto no colmo como nas raízes, a concentração de fósforo não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

Tabela 10. Concentração de fósforo (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Folha - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	3,2 Bb	4,8 aA	3,3 aA	3,6 aA
Gesso	4,6 abA	5,1 aA	4,3 aA	3,7 aB
Controle	5,8 aA	4,7 aA	4,3 aA	3,7 aB
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Colmo	4,0 a	3,9 a	3,7 a	3,8 a
Raiz	0,77 a	0,93 a	0,61 a	0,68 a
	Calcário	Gesso	Controle	
Colmo	3,7 a	4,1 a	3,8 a	
Raiz	0,70 a	0,73 a	0,81 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.4 Cálcio

No solo com calcário, a concentração de cálcio nas folhas foi significativamente maior nos cultivares IACSP95-IACSP94-2094094 e SP80-3IACSP94-209480 e IACSP95-3028 do que no IACSP95-5000. No solo com gesso não houve diferenças significativas na concentração desse nutriente nas folhas dos quatro cultivares. No solo controle, os cultivares com maior concentração de cálcio nas folhas foram o IACSP95-2094 e o IACSP95-3028. A concentração desse nutriente nas folhas do cultivar IACSP95-5000 foi maior no gesso. No cultivar IACSP95-2094, a maior concentração nas folhas foi observada nas plantas crescidas no gesso e no controle. No cultivar SP80-3280 não houve diferenças significativas na concentração de cálcio entre os três tratamentos. No cultivar IACSP95-3028, a maior concentração desse nutriente observado nas folhas foi nas plantas do solo controle.

Tanto no colmo como nas raízes, a concentração de cálcio não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de solo. Os cultivares IACSP95-5000, IACSP95-2094 e SP80-3280 apresentaram maior concentração de cálcio em colmo e raízes do que o cultivar IACSP95-3028.

Tabela 11. Concentração de cálcio (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Concentração de Ca			
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Folha	4,54 a	4,90 a	3,96 ab	3,19 b
Colmo	2,84 a	3,27 a	2,3 ab	1,52 b
Raiz	2,66 ab	3,28 a	2,93 ab	2,04 a
	Calcário	Gesso	Controle	
Folha	3,74 b	4,09 ab	4,61 a	
Colmo	2,28 a	2,81 a	2,32 a	
Raiz	2,47 a	2,95 a	2,76 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.5 Enxofre

No solo com calcário, a concentração de enxofre nas folhas não teve diferenças significativas entre as plantas dos quatro cultivares avaliados. No solo com gesso, as plantas dos cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e 3 apresentaram as maiores concentrações de enxofre nas folhas. No solo controle, foram as plantas dos cultivares IACSP94-2094, SP80-3280 e IACSP95-3028 as que tevê as maiores concentrações em folha.

O cultivar IACSP95-5000 teve maior concentração de enxofre em folha nas plantas crescidas no solo com gesso e com calcário. Em os cultivares IACSP94-2094 e SP80-3280 as concentrações foram significativamente as mesmas entre as plantas crescidas nos três tipos de solo. No cultivar IACSP95-3028, as maiores concentrações foram detectadas nas folhas de plantas crescidas nos solos controle e com calcário.

No colmo, a concentração de enxofre não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

Nas raízes, a concentração de enxofre não teve diferenças significativas entre os quatro cultivares crescidos nos solos controle e com calcário. No solo com gesso, o cultivar 3 apresentou maior concentração de enxofre nas raízes do que os outros três cultivares. Considerando o cultivar, tanto o IACSP95-5000 como o IACSP94-2094 e o IACSP95-3028 não teve diferenças significativas de enxofre nas raízes entre as plantas crescidas nos três tipos de solo. O cultivar SP80-3280 teve maior concentração nas plantas crescidas nos solos com gesso e com calcário.

Tabela 12. Concentração de enxofre (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Folha - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	1,85 bB	3,57 aA	3,10 aA	3,07 abA
Gesso	3,49 aA	3,37 aAB	2,74 aAB	2,23 bB
Controle	3,36 aA	3,71 aA	2,91 aA	3,40 aA
----- Raiz - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	1,26 aA	1,69 aA	1,09 bA	1,79 aA
Gesso	1,54 aB	1,60 aB	2,78 aA	1,42 aB
Controle	1,16 aA	1,71 aA	1,99 abA	1,01 aA
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Colmo	5,00 a	4,66 a	3,21 b	3,10 b
	Calcário	Gesso	Controle	
Colmo	3,92 a	4,16 a	3,90 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.6 Magnésio

No solo com calcário e com gesso, a concentração de magnésio nas folhas foi significativamente maior no cultivar IACSP95-5000 do que nos outros três. No solo controle,

os cultivares IACSP95-5000 e IACSP94-2094 apresentaram as maiores concentrações desse nutriente nas folhas.

No cultivar IACSP95-5000, a maior concentração de Mg nas folhas foi no solo com calcário. No cultivar IACSP94-2094, a maior concentração foi no solo com calcário e com gesso. No cultivar IACSP95-3028, a maior concentração foi observada nas plantas do solo controle. No cultivar 4, as plantas nos solos controle e com calcário apresentaram as maiores concentrações de magnésio nas folhas.

No solo com calcário e no controle, a concentração de magnésio no colmo foi significativamente maior no cultivar IACSP95-5000 do que nos outros três. No solo com gesso, a maior concentração de Mg no colmo foi observada nos cultivares IACSP95-5000 e IACSP94-2094.

No cultivar IACSP95-5000, a maior concentração de Mg no colmo foi no solo com calcário. No cultivar IACSP94-2094, a maior concentração foi no solo com calcário e com gesso. Em os cultivares SP80-3280 e IACSP95-3028, não teve diferenças significativas na concentração de Mg entre os três tipos de solo.

Nas raízes, a concentração de magnésio não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre cultivares e entre solos.

Tabela 13. Concentração de magnésio (g/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Folha - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	2,85 cAB	2,69 bBC	3,15 aA	2,29 aC
Gesso	4,29 bA	3,30 aB	2,05 bC	1,55 bD
Controle	5,03 aA	3,61 aB	1,93 bD	2,66 aC
----- Colmo - g kg ⁻¹ -----				
Calcário	3,53 bA	1,86 bB	1,55 aB	1,35 aB
Gesso	3,24 bA	2,57 aA	1,39 aB	1,01 aB
Controle	4,35 aA	3,08 aB	1,18 aC	1,35 aC
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Raiz	0,77 a	1,08 a	0,98 a	0,44 a

	Calcário	Gesso	Controle
Raiz	0,70 a	0,66 a	1,10 a

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.7 Manganês

Nas folhas, a concentração de manganês não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, mas teve diferenças significativas entre cultivares e entre solos. Os cultivares IACSP95-5000 e IACSP94-2094 apresentaram significativamente maiores concentrações de Mn nas folhas. As plantas nos solos com gesso e com calcário apresentaram maiores concentrações que as plantas no controle.

No colmo, a concentração de manganês não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de solo. Os cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e SP80-3280 apresentaram maior concentração de Mn do que o cultivar IACSP95-3028.

Nas raízes, a concentração de manganês também não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, mas teve diferenças significativas entre os três tipos de solo e os cultivares. As plantas crescidas no solo controle ou com gesso tinham significativamente maior concentração de manganês do que as crescidas nos solos com calcário. Por outro lado, os cultivares IACSP94-2094, 3 SP80-328 e IACSP95-3028 apresentaram maior concentração desse nutriente em raízes do que o cultivar IACSP95-5000.

Tabela 14. Concentração de manganês (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Concentração de Mn			
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Folha	154 b	234 a	246 a	280a
Colmo	165 b	261 ab	240 ab	337 a
Raiz	126 b	154 ab	184 a	174 a

	Calcário	Gesso	Controle
Folha	248 a	249 a	188 b
Colmo	237 a	296 a	218 a
Raiz	195 a	178 a	104 b

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.8 Ferro

Tanto nas folhas como no colmo, a concentração de ferro não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

Nas raízes, a concentração de ferro também não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, mas teve diferenças significativas entre os três tipos de solo e os cultivares. As plantas crescidas no solo com calcário tinham significativamente maior concentração de ferro do que as crescidas nos solos controle ou com gesso. Por outro lado, os cultivares IACSP94-2094, SP80-3280 e IACSP95-3028 apresentaram maior concentração desse nutriente em raízes do que o cultivar IACSP95-5000.

Tabela 15. Concentração de ferro (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Concentração de Fe			
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Folha	130 a	184 a	124 a	231 a
Colmo	99 a	111 a	77 a	117 a
Raiz	3772 b	4928 ab	5944 a	5259 a

	Calcário	Gesso	Controle
Folha	193 a	144 a	164 a
Colmo	99 a	116 a	88 a
Raiz	4395 b	4656 b	5877 a

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.9 Cobre

Tanto nas folhas como nas raízes, a concentração de cobre não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

No colmo, a concentração de cobre não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de solo. Os cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e SP80-3280 apresentaram maior concentração de cobre do que o cultivar IACSP95-3028.

Tabela 16. Concentração de cobre (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Concentração de Cu			
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Folha	3,21 a	2,71 a	3,01 a	3,12 a
Colmo	10,68 a	10,31 ab	7,35 ab	6,55 b
Raiz	18,24 a	16,16 a	18,06 a	18,45 a
	Calcário	Gesso	Controle	
Folha	3,29 a	2,95 a	2,80 a	
Colmo	7,96 a	10,28 a	7,93 a	
Raiz	18,72 a	18,85 a	15,62 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.2310 Zinco

Nas folhas, a concentração de zinco não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo. No colmo, nos solos com calcário e com gesso não houve diferenças significativas na concentração de zinco entre os quatro cultivares. No solo

controle, os cultivares IACSP94-2094 e 4 apresentaram maiores concentrações de zinco nas folhas que os outros dois cultivares.

Nas raízes, a concentração de zinco não teve interação entre o tipo de solo e o tipo de cultivar, nem diferenças significativas entre os três tipos de solo. Os cultivares IACSP94-2094, SP80-3280 e IACSP95-3028 apresentaram as maiores concentrações de zinco na folha.

Tabela 17. Concentração de zinco (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
----- Colmo - mg kg ⁻¹ -----				
Calcário	52,7 abC	101,0 aAB	63,3 aB	142,8 aA
Gesso	90,0 aA	108,3 aA	73,0 aA	74,6 bA
Controle	33,0 bA	48,1 bA	74,4 aA	72,2 bA
----- mg kg ⁻¹ -----				
Folha	35,3 a	23,1 a	29,4 a	23,7 a
Raiz	33,1 b	47,9 a	50,7 a	43,0 ab
	Calcário	Gesso	Controle	
----- mg kg ⁻¹ -----				
Folha	35,2 a	25,0 a	23,4 a	
Raiz	45,4 a	43,4 a	42,1 a	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

5.2.3.11 Boro

Nas folhas, a concentração de boro não teve diferenças significativas nem entre os cultivares nem entre os tipos de solo.

No solo com calcário, o cultivares IACSP95-5000, IACSP94-2094 e 3 tiveram maior concentração de boro no colmo do que o cultivar 4. No solo com gesso foram os cultivares IACSP94-2094, SP80-3280 e IACSP95-3028 os que apresentaram significativamente maior concentração desse nutriente. No solo controle não houve diferenças significativas na concentração de boro no colmo entre os quatro cultivares.

No cultivar IACSP95-5000, a maior concentração de boro no colmo foi observada nos solos controle e com calcário. Em os cultivares IACSP94-2094 e SP80-3280 não houve

diferenças significativas no boro do colmo entre os três tipos de solo. No cultivar IACSP95-3028, as maiores concentrações de boro no colmo foram observadas nos solos controle e com gesso.

No solo controle e com calcário, não houve diferenças significativas nas concentrações de boro nas raízes das plantas entre os quatro cultivares. No solo com gesso, os cultivares IACSP94-2094, SP80-3280 e IACSP95-3028 apresentaram maiores concentrações desse nutriente nas raízes do que o cultivar IACSP95-5000.

No cultivar IACSP95-5000, as plantas crescidas nos solos controle e com calcário apresentaram as maiores concentrações de boro nas raízes. Em os cultivares IACSP94-2094 e SP80-3280 não houve diferenças significativas nas concentrações entre as plantas crescidas nos três tipos de solo. No cultivar IACSP95-3028, as plantas dos solos controle e com gesso tiveram as maiores concentrações de boro nas raízes.

Tabela 18. Concentração de boro (mg/kg) em cultivares de cana-de-açúcar em função da aplicação de calcário e gesso

Tratamento	Concentração de B			
	----- mg kg ⁻¹ -----			
	IACSP 95-5000	IACSP 94-2094	SP 80-3280	IACSP 95-3028
Folha	7,03 a	7,33 a	6,22 a	7,12 a
Colmo	3,79 bc	5,37 ab	6,66 a	2,80 c
Raiz	14,09 a	13,65 a	15,09 a	13,45 a
	Calcário	Gesso	Controle	
Folha	6,51 a	7,27 a	7,00 a	
Colmo	5,39 a	4,05 a	4,53 a	
Raiz	14,67 a	14,54 a	12,93 b	

* médias seguidas de mesma letra, minúsculas para colunas e maiúsculas para linhas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% probabilidade

6 CONCLUSÃO

A cultivar IACSP95-5000 evidenciou maior potencial de produção em resposta à aplicação de calcário e manteve suas características de maior produção quando comparada as outras cultivares.

A saturação de alumínio de 29% não apresenta efeito negativo sobre a produção de matéria seca, exceto para a cultivar IACSP95-5000 onde a resposta foi bem mais acentuada entre os tratamentos, quando comparada as outras cultivares.

O estado nutricional das cultivares não apresentou valores extremos para os tratamentos, evidenciando que, para experimentos de avaliação de respostas ao alumínio no solo, pode contribuir para a experimentação com plantas de ciclo longo, como o caso de cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- BENNET, R.J; BREEN, C.M. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**, 134: 153-166, 1991.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento - Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília: Conab 2014.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology** 107: 315-321, 1995.
- DELHAIZE, E.; RYAN, P.R.; HEBB, D.M.; YAMAMOTO, Y.; SASAKI, T.; MATSUMOTO, H. Engineering high-level aluminum tolerance in barley with the ALMT1 gene. **PNAS** 101: 15249-15254, 2004.
- ECHART, C.L; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, Santa Maria, 3: 531-541, 2001.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; SCHWARTZ, J.W. The physiology of plant tolerance to excess available aluminum and manganese in acid soils. In: Jung, G.A. Crop tolerance to sub optimal land condition. Madison, **The soil Science Society American** 301-338, 1978.
- GUO, T.R.; ZHANG, G.P.; ZHANG, Y.H. Physiological changes in barley plants under combined toxicity of aluminum, copper and cadmium. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v.57, p.182-188, 2007.
- KOCHIAN, L.V. **Annual Review Plant Physiology Plant Molecular Biology**, 46: 237–260, 1995.
- LANDELL, M.G de A; PRADO, H. do; VASCONCELOS, A.C.M. de; PERECIN, D; ROSSETTO, R; BIDOIA, M.A.P; SILVA, M. de A; XAVIER, M.A. Oxisol subsurface chemical attributes related to sugarcane productivity. *Scientia Agricola* 60: 741–745, 2003.
- LANDELL, M.G.A. Comportamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) frente a níveis de alumínio, em solução nutritiva. FCAV/UNESP, Dissertação de doutorado. 117p. 1989.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G.C; OLIVEIRA, A.S. Avaliação do estado nutricional das plantas. 2.ed. Piracicaba: **POTAFOS**, 1997. 319p.
- MELO, W.J.; MARQUES, M.O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. **Impacto do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP: EMBRAPA Meio Ambiente, cap.5, p.109-142, 2000.
- MORRELLI, J.L; NELLI, E.; DEMATTE, J.L.I; DALBEN, E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, 6: 24-31, 1987.
- OLIVEIRA, I.P; COSTA, K.A.P; SANTOS, K.J.G; MOREIRAS, F.P. Considerações sobre a acidez dos solos de Cerrado. *Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos, Goiás*, 1: 01-12,

2005. Disponível em:
 <http://www.fmb.edu.br/revista/edicoes/vol_1_num_1/Consideracoes_sobre_acidez.pdf>.
 Acesso em: 15 dezembro de 2014.

PEIXOTO, P.H.P; PIMENTA, D.S; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. *Bragantia*, Campinas, 66: 17-25, 2007.

Quaggio, J.A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. (2000) Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas. 111p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo; Fundação IAC, 1997. p. 245-260. (Boletim Técnico, 100).

RYAN, P.R.; DITOMASO, J.M.; KOCHAIN, L.V. (1993) Aluminum toxicity in roots, an investigation of spatial sensitive. **Journal of Experimental Botany** 44: 437-446.

SCHÖLL, L.; KEITJEANS, E. H.; BREEMEN, N.V. Effects of ectomycorrhizal colonization on the uptake of Ca, Mg and Al by *Pinus sylvestris* under aluminum toxicity. **Forest Ecology and Management**, v.215, p.352-360, 2005.

SCHUMANN, A.W.; McARTHUR, D.; MEYER, J.H. (1999) Further revision of lime recommendations used in the South African sugar industry. **Proceedings of the South African Sugar Technologist's Association** 73: 58-73.

SOBRAL, A.F. de; GUIMARÃES, V.O.S. Relação entre a toxidez do alumínio e a produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, p.287-292, 1992.

SOUSA, D.M.G.; VILELA L; LOBATO, E.; SOARES, W.V. **Uso de gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados 12: 22p. (Circular Técnica), 2001.

SOUZA, D.M.G; MIRANDA, L.N; OLIVEIRA, S.A. Acidez do solo e sua correção. In: NOVAIS, R.F et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1017p, 2007.

SPOSITO, G. (1996) **The Environmental Chemistry of Aluminum**, 2.ed., Boca Raton : Lewis Publishers.

WOLTERBEEK B, DIE vJ. The contents of some hitherto nor reported trace elements in phloem exudates from *Yucca flaccida* Haw., determined by means of nondestructive neutron activation analysis. **Acta Bot Neerl**, 29, 307-309, 1980.