

**EFEITOS DA CALAGEM E DA ADUBAÇÃO POTÁSSICA
SOBRE A PRODUÇÃO DE COLMO E O EQUILÍBRIO
NUTRICIONAL DA CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)**

DOMÍCIO ALVES CORDEIRO

Engenheiro-Agrônomo
INCRA - U.F.R.P.E.

Orientador: Prof. Dr. Valdomiro Correa de Bittencourt

Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universi-
dade de São Paulo, para obtenção do título de
Mestre em Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Maio, 1978

À memória de:

- Antonio Alves Cordeiro, meu pai, que apesar dos descaminhos que se viu obrigado a trilhar, transformou-se em símbolo de luta, sensatez e amor paterno para todos os seus filhos.

- Antonio Coelho de Andrade Lima, Mário Coelho de Andrade Lima e Álvaro Alves da Silva, inesquecíveis mestres e amigos, honra e glória da Agronomia Pernambucana.

e à minha Dolores e aos frutos do nosso amor - Antonio Neto, Domício José e
Andrêia Dória,

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Valdomiro Correa de Bittencourt, orientador, mestre, companheiro e amigo, pela confiança e apôio.
- Ao Engenheiro Agrônomo Laurentino Fernandes Batista, pela dedicada colaboração em todas as fases deste trabalho.
- Aos Engenheiros Agrônomos Eduardo Guimarães e Marcílio Gurgel, bem como ao Dr. Sérgio Paranhos, todos da Divisão Técnica da COPERSUCAR, pelo inestimável apôio.
- Aos Laboratoristas Valdir Ximenes, Vitalina Neide Beloto, Yolanda Rufini, Renato de Oliveira Diniz e Maria Ângelo Foltran, pelo auxílio nas análises de solo e planta.
- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pelas facilidades e infraestrutura oferecidas para a realização deste trabalho e durante todo meu Curso de Pós-Graduação.
- Ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e à Universidade Federal Rural de Pernambuco, pela oportunidade de treinamento.
- E a todos aqueles que de algum modo contribuíram positivamente com este trabalho.

ÍNDICE

	<u>página</u>
1. RESUMO	1
2. INTRODUÇÃO	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	7
3.1. Acidez em solos tropicais úmidos e a calagem na cultura da cana-de-açúcar	8
3.2. O interrelacionamento catiônico no sistema solo-planta ...	16
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Solos utilizados	21
4.2. Condições experimentais	23
4.3. Análise da planta	25
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1. Características químicas dos solos e a produção de colmo .	26
5.2. A análise foliar e a produção de colmos	38
6. CONCLUSÕES	42
7. SUMMARY	44
8. LITERATURA CITADA	46
APÊNDICE	55

1. RESUMO

Um experimento foi conduzido em casa-de-vegetação com o objetivo principal de se avaliar, através de resultados de análises foliares e de produção de colmos, os efeitos do interrelacionamento entre o K, o Ca e o Mg sobre a cana-de-açúcar (var. NA 56-79), cultivada em dois solos do Estado de São Paulo (Latossol Vermelho Amarelo, fase arenosa (LVA) e Latossol Roxo (LR)).

As plantas se desenvolveram durante 6 meses em vasos com 20 kg de solo. Cada solo recebeu 5 níveis de calagem e 5 níveis de K, num esquema fatorial 5^2 com 3 repetições. A calagem no solo LVA correspondeu a 0; 1; 2; 3 e 4 vezes, o teor trocável de (Ca + Mg), enquanto que para o solo LR foi equivalente a 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes aquele teor, utilizando-se como material corretivo carbonatos de Ca e Mg (p.a.). O K foi aplicado como KCl (fertilizante comercial) nos níveis de 0; 25; 50; 75 e 100 ppm do elemento a ambos os solos.

No solo LVA a calagem e a adubação potássica atuaram signifi

cativa e positivamente sobre a produção de colmos. No solo LR, apesar de os tratamentos não terem tido significância estatística sobre as produções, equações de regressão estatisticamente consistentes, demonstraram um efeito depressivo da calagem e uma ação negativa do K à partir do nível de 50 ppm do elemento no solo.

Uma avaliação conjunta dos dados de produção e teores trocáveis de Ca, Mg e K, de ambos os solos, revelou, através do método conhecido como "retilíneo descontínuo", que os aumentos de produção para Ca e Mg cessaram quando esses elementos apresentaram, respectivamente, teores trocáveis de 0,28 e 0,25 e.mg/100 g de solo. Quanto ao K, a metodologia determinou um sensível decréscimo nos incrementos de produção quando o teor trocável daquele nutriente subiu além de 0,25 e.mg/100 g de solo.

A associação dos teores ou relações entre nutrientes nas folhas e produção, permitiu visualizar que no solo LVA, o Mg e o K foram elementos limitantes e que o P teve sua disponibilidade aumentada devido à adubação potássica. No solo LR constatou-se que os decréscimos de produção foram devidos ao desequilíbrio nutricional, causado principalmente pelo Ca.

2. INTRODUÇÃO

Se a aplicação de adubos potássicos em todas as regiões cana-
vieiras do mundo constitui-se numa prática indispensável, corriqueira e de
relativa facilidade quanto aos aspectos de previsão de reais necessidade e
quantidade, o mesmo não se pode falar da prática da calagem.

As dificuldades de uma generalização maior do emprego da ca-
lagem na cultura da cana parecem diretamente envolvidos com as próprias con-
tradições que se apresentam quando se aprecia os relatos experimentais so-
bre essa prática nas diversas regiões. Isto é, dentro dos princípios bási-
cos de que a aplicação de calcário no solo visa corrigir a acidez excessiva
e assegurar a nutrição da planta em Ca e/ou Mg, os mais contraditórios re-
sultados têm sido observados. Enquanto que no Havai (*HUMBERT, 1955*) tem-se
demonstrado a gravidade de se fazer calagem com doses pesadas de calcário,
em Formosa (*WANG et alii, 1954*) tem-se obtido excelentes ganhos de produção
quando a acidez do solo é totalmente eliminada ($\text{pH} < 5,0 \rightarrow \text{pH} = 7,0$ ou
mais). Se em Porto Rico a calagem só atua favoravelmente quando aplicada em

solos com pH < 5,5, nas Filipinas essa prática tem obtido sucessos quando realizada em solos com pH entre 6,0 e 6,5 (HUMBERT, 1963), enquanto no Brasil (GUIMARÃES *et alii*, 1974) os escassos resultados experimentais mostram que o pH pouco ou nada evidencia sobre a necessidade da calagem para a cultura da cana-de-açúcar. Apesar de nas nossas condições (ESPIRONELO e OLIVEIRA, 1972) se recomendar a aplicação de calagem em solos com teores maiores do que 0,50 e.mg Al³⁺ / 100 g de solo, no Havai 6,00 e.mg/100 g desse elemento não tem demonstrado toxidez e, nas Guianas Britânicas saturação em Al³⁺ de até 60% da CTC do solo não resultou em impedimento à produção normal da cana-de-açúcar (AYRES *et alii*, 1965). Por outro lado, enquanto no Havai (AYRES, 1962) e no Brasil (COPERSUCAR, 1977) recomenda-se a calagem baseando-se principalmente na correção de uma possível deficiência em Ca no solo, outros autores (HUMBERT, 1969, ESPIRONELO e OLIVEIRA, 1972, MALAVOLTA *et alii*, 1974) propõem a aplicação de calcário, em doses tais que o pH do solo seja elevado a aproximadamente 6,5, para um bom desenvolvimento da cana.

Dentro da linha de raciocínio sobre os contrastes com a prática da calagem na cana-de-açúcar, poderiam ainda ser mostrados resultados, que provam sua ação benéfica sobre os rendimentos agrícolas e/ou industriais (WANG *et alii*, 1959), resultados que não mostram tais benefícios (GUIMARÃES *et alii*, 1975) e ainda aqueles que demonstram justamente prejuízos, tanto industrial como agrícola (DADIDSON, 1965 e KAMPRATH, 1973).

Um outro fato a ser levado em consideração com a prática da calagem são as possíveis interações negativas causadas ao complexo nutricional do solo (LAROCHE, 1966) e seus reflexos sobre a nutrição e produção da

cana-de-açúcar (HUMBERT, 1955; EVANS, 1959; CORDEIRO *et alii*, 1976 e CORDEIRO, 1978). Paralelo a isso, tem sido demonstrado que a disponibilidade do K à cana-de-açúcar é a principal prejudicada pela ação antagônica do Ca e/ou Mg, tanto pelos teores naturais (EVANS, 1959) como pelos aumentos nos teores destes dois cátions provocados pela calagem (HUMBERT, 1955; EVANS, 1959; CORDEIRO, 1978). Em certas regiões canavieiras, como nas Filipinas, para que a cana produza satisfatoriamente nos solos que receberam calagem aplicam-se doses de K bem mais elevadas do que as normalmente recomendadas (TABAYOYONG e ROBENIOL, 1965). Em Pernambuco (BENTO DANTAS*, informação pessoal) foi observado que solos onde não havia resposta à adubação potássica passaram a responder a aplicação do K depois de certo tempo do emprego da calagem. Além do mais, pesquisas básicas desenvolvidas em solos tropicais, tem demonstrado que a caulinita, mineral de argila predominante, apresenta adsorção seletiva pelo Ca e Mg em detrimento do K (BITTENCOURT *et alii*, 1978). Isto justificaria o deslocamento do K trocável para a solução do solo, devido aos aumentos dos teores trocáveis de Ca e Mg, podendo provocar, possivelmente, sua perda por lixiviação (BITTENCOURT e SAKAI, 1975).

No Brasil, o número de resultados experimentais publicados a respeito da calagem na cana-de-açúcar é inexpressivo. Contudo, já em fevereiro de 1933, CAMARGO e BOLLIGER apresentavam na revista "O CAMPO", talvez o primeiro trabalho com calagem na cultura de cana-de-açúcar realizado em nosso país. Numa avaliação cuidadosa desse artigo pioneiro, preciosíssimo pela riqueza em detalhes e após as devidas correções conceituais da época

* Bento Dantas - Assessor da Coordenadoria Geral do PLANALSUCAR - Piracicaba - SP.

e até de alguns erros de cálculo e lapsos na interpretação dos resultados , verifica-se que a produção de colmos em tratamentos que receberam calagem foi menor enquanto que houve pequeno aumento nos percentuais de sacarose devido a aplicação de Ca. Os demais resultados experimentais publicados dentro do assunto no Brasil (*WUTKE et alii, 1960; WUTKE e ALVAREZ, 1968; GUIMARÃES et alii, 1972 e COPERSUCAR, 1977*) demonstram mais uma resposta em termos de suprimento de Ca e/ou Mg do que mesmo devido a uma ação neutralizante de acidez ou eliminadora de íons Al tóxicos.

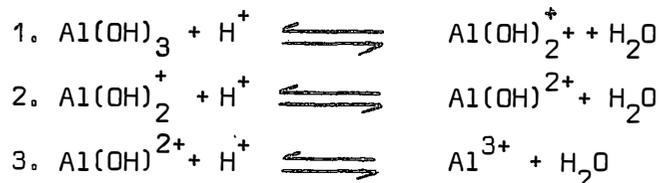
O presente trabalho teve como motivação todos os fatos aqui comentados. Assim, um experimento foi conduzido em casa de vegetação dentro de um esquema fatorial 5^2 , com cinco níveis de calagem e cinco de K. Seu objetivo principal foi o de avaliar, através de resultados de análises foliares e de produção de colmos, os efeitos do interrelacionamento entre o K, o Ca e o Mg sobre a cana-de-açúcar, cultivada em dois solos do Estado de São Paulo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Potássio, Ca, Mg e, até certo ponto, Na, desempenham importante papel nas relações solo-planta. *TISDALE e NELSON (1971)* afirmam que esses elementos não são apenas essenciais para a complexidade bioquímica do desenvolvimento das plantas, mas sua presença no solo, em quantidades adequadas e em proporções apropriadas, é necessária para um meio apropriado ao desenvolvimento das plantas.

Os solos tropicais de clima úmido, sujeitos a temperaturas e levadas durante todo ou boa parte do ano e excesso de chuva em relação à evapotranspiração, tem como característica comum o avançado estado de intemperização, considerando-se a composição de sua fração mineral e a acidez (*HARDY, 1958*). Tem-se demonstrado (*AYRES, 1943; KANEHIRO e CHANG, 1956*) que em solos bem drenados o empobrecimento em Ca^{2+} e Mg^{2+} e o aumento da acidez é função da quantidade de chuva, de tal modo que a saturação de bases e o pH diminuem com o aumento da umidade. Sendo assim, a lavagem de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ , em diferentes proporções, conduz a desequilíbrios naturais principalmente das relações $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$, $\text{Mg}^{2+}/\text{K}^+$ e $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/\text{K}^+$ (*AYRES, 1943; HARDY,*

percola. O ciclo continua com a decomposição das argilas e solubilização dos óxidos hidratados de Al e Fe. De uma maneira simplificada, essas reações de solubilização são as seguintes (SEATZ e PETERSON, 1964):



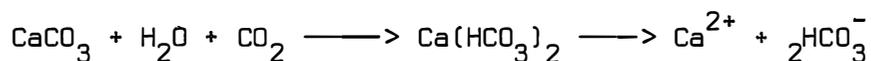
As tres etapas da hidrólise ocorrem gradualmente com a produção de H^+ , a partir de pH 5,5 - 5,0. Ao final, tem-se um solo com alto teor de Al e com acidez elevada, cujos aspectos negativos são:

- baixo teor de bases;
- alto poder de fixação de P devido a formação de fosfatos de Al e de Fe;
- deficiência de Mo por fixação semelhante à do P;
- íons Al e Mn em concentrações tóxicas;
- pequena atividade de microrganismos.

Os trabalhos de AYRES (1943), CATANI e GALLO (1955), POPENOE (1960) e RIXON e SHERMAN (1962) justificam a aplicação desse ciclo para os solos tropicais de clima úmido, onde a saturação de bases diminui com o aumento de pluviosidade e pH ou o íon Al é uma função da perda de cátions, principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+} .

A adição do calcário e de fertilizantes, dentro do que se expôs anteriormente, conduz à recuperação do solo. Os fertilizantes reagem imediatamente com o complexo de troca, formando sais solúveis ou complexos insolúveis de Al e Fe, mas não diminuem sensivelmente a acidez, o que possi

bilita a continuação da solubilização dos óxidos hidratados (*PLUCKNETT e SHERMAN, 1963*). A reação do calcário com o solo depende da velocidade de solubilização de suas partículas. Vários fatores intervêm no processo; entre esses, a pressão de CO_2 no solo é decisiva. Segundo *SEATZ e PETERSON (1964)*, a solubilização do calcário pode ser representada pelas seguintes equações:



Segue a substituição de íons Al do complexo de troca por Ca^{2+} , e a combinação dos íons HCO_3^- com os H^+ , formando H_2O e CO_2 , e a insolubilização dos óxidos hidratados devido à elevação do pH (*COLEMAN et alii, 1958*). A reação do calcário no solo, assim descrita, está em pleno acordo com a definição de calagem dada por *TISDALE e NELSON (1971)*: "Calagem, sob o ponto de vista agrícola, se refere a adição ao solo de qualquer composto contendo cálcio ou cálcio + magnésio capaz de reduzir os efeitos e as consequências da acidez do solo". *KAMPRATH (1973)*, numa revisão sobre acidez e calagem em solos dos trópicos úmidos latinoamericanos, informa que naquelas áreas a aplicação de corretivos, a rigor, não produz resultados favoráveis em aumento de produção quando se trata de elevar o pH do solo a 6,5 ou 7,0. Segundo aquele autor, a ausência de respostas, geralmente acompanhada de redução de rendimento, é resultado de uma deficiência de micronutrientes e diminuição na disponibilidade de fósforo.

Considerando-se que a cana-de-açúcar desenvolve-se por exceção em regiões nas quais por condições edafoclimáticas, os solos têm reação que varia de fortemente a moderadamente ácida (pH 4,0 a 6,0), em princípio a calagem deveria ser uma das práticas quase obrigatória dessa

cultura. Por exemplo, *MAIAVOLTA et alii* (1974) informam que o pH ideal para o desenvolvimento da cana-de-açúcar é 6,0 - 6,5 e apresentam uma tabela com as quantidades de calcário a serem aplicadas, dadas em função do pH e de algumas características morfológicas do solo. Entretanto, resultados de ensaios de calagem conduzidos em algumas das mais importantes regiões canavieiras do mundo (Havaí e Brasil) não confirmam aquelas recomendações, indicando que essa prática para a cana-de-açúcar, naquelas áreas, deve ser melhor avaliada em termos de reais necessidade e quantidade (*HUMBERT, 1955 ; AYRES, 1962; GUIMARÃES et alii, 1975*).

AYRES (1962), num balanço histórico sobre a calagem nas ilhas havaianas, informa que a aplicação de corretivos já era uma prática perfeitamente estabelecida na última década do século XIX e assim continuou nos vinte primeiros anos do nosso século, para cessar completamente pelos idos de 1925. Daí até o início da década de 50, calcário não foi aplicado em nenhum grau à cultura de cana-de-açúcar, mesmo experimentalmente. O autor esclarece que os solos submetidos a essa prática pertenciam a três grandes grupos de Latossóis (Húmico, Hidráulico Húmico e Húmico Ferruginoso), altamente intemperizados, moderadamente a fortemente ácidos e submetidos a precipitações anuais que variam de 1500 a 4800 mm (60 a 175 polegadas. Quando foi utilizada, a calagem era aplicada em doses moderadas (1 a 6 t de calcário por hectare) que, segundo o autor, não teriam muito efeito sobre a acidez desses solos, altamente "tamponados". A ausência da prática da calagem por 25 anos (1925-1951) nos solos do Havaí é atribuída ao fato de que a avaliação de 25 experimentos sobre calagem conduzidos de 1916 a 1924 revelou nenhum aumento significativo em termos de produção e qualidade da cana-de-açúcar em função da calagem. Por volta de 1933, mais 11 experimentos

foram reavaliados em conjunto com os 25 anteriores, revelando-se que além de não produzir um efeito benéfico na produção, a calagem comprometera a qualidade da cana-de-açúcar.

No final da década de 40, experimentos conduzidos nessas áreas revelaram significativos aumentos na produção de açúcar por área quando da aplicação do P como superfosfato, o que não ocorria quando o elemento era aplicado na forma de fosfato de amônio. Essas diferenças de produção, de acordo com *AYRES (1962)* foram interpretadas como indicadoras de deficiência de Ca nos solos das áreas experimentais, o que se confirmou pelo teor de Ca trocável (0,10 a 0,15 e.mg/100 g de solo). Reativado o programa de calagem, dentro de doses tidas como moderadas, e utilizando-se diversas fontes de Ca, constatou-se que as respostas a calagem estavam inversamente relacionadas ao teor original do Ca no solo, isto é, quanto menores as quantidades de Ca trocável (variando de 0,08 a 5 e.mg /100g de solo) maiores foram os aumentos de produção. Pelo fato de as doses de calcário aplicadas serem moderadas (1 a 3 t/ha) e como quando se usava gesso obteve-se os mesmos "ganhos" de produção, calagem foi considerada como sinônimo de suprimento de Ca no solo. O teor trocável de 0,50 e.mg Ca/100 g de solo foi considerado o nível crítico, isto é, acima do qual eram mínimas as probabilidades de resposta à calagem.

Por seu turno, *EVANS (1959)* apesar de admitir que, do ponto de vista da nutrição com Ca, o nível de 0,50 e.mg do Havaí pode ser adotado em certas áreas da Guiana Britânica, informa que nas condições da Guiana, respostas à calagem são facilmente obtidas em solos com teores de Ca tão alto quanto 2,50 e.mg/100 g de solo.

AYRES et alii (1965) concluem que os níveis de Al nos solos havaianos não são suficientemente altos para influenciar o desenvolvimento da cana-de-açúcar. Os teores de Al (KCl 1 N) variavam de 0 a 6 e.mg/100 g de solo, correspondendo de 0 a 22% da CTC dos solos. Relatam ainda os autores que um dos maiores teores de Al solúvel em água (2,35 ppm) fora determinado numa amostra de solo proveniente de um campo, o qual recentemente tinha sido recordista em produção de açúcar. Evans e colaboradores (1963) citados por *AYRES* (1965) informam que em solos sulfúricos, com Al excedendo dos 60% da CTC, não foi constatado nenhum impedimento ao desenvolvimento da cana-de-açúcar. Referências também são feitas (*AYRES, 1962 e 1965*) ao problema da acidez induzida aos solos pelo emprego de fertilizantes amoniacais. *AYRES* (1962), admite que uma das prováveis causas para o retorno do emprego da calagem em solos havaianos tenha sido a substituição do NaNO_3 (salitre do Chile) pelo $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (sulfato de amônio). Níveis de 4,60 ppm de Al solúvel em água foram obtidos numa amostra de solo retirada de uma linha de cana que recebera $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (*AYRES, 1965*).

Para as condições de solo de Porto Rico, *ABRUÑA et alii* (1968), relatam que respostas à calagem pela cana-de-açúcar são limitadas. De fato, os dados de *BONNET et alii* (1958) revelam que não houve resposta estatisticamente significativa à calagem para a cana-planta e que nos três cortes, a diferença, no cômputo total, a favor da calagem fora de apenas 22 toneladas de cana por hectare, com significância estatística, contudo. Por outro lado, em Porto Rico como no Havaí, há indicações de uma progressiva acidificação dos solos pelo uso de fertilizantes de ação residual ácida (*HUMBERT e AYRES, 1957; SAMUELS e GONZALES, 1962*). *SAMUELS* (1962) informa que 36% das terras cultivadas com cana-de-açúcar em Porto Rico tem pH va-

riando de 3,8 a 5,4 enquanto que *ABRUÑA et alii (1968)* demonstram que 40% daquelas áreas se apresentam com teores superiores a 2 e.mg $Al^{3+}/100$ g. Aqueles autores acreditam que devido ao contínuo incremento do emprego de adubos de natureza acidificante ($(NH_4)_2SO_4$, principalmente) é de se esperar que respostas à calagem pela cana-de-açúcar sejam cada vez mais marcantes. Assim sendo *ABRUÑA et alii (1968)* mostram que em solos submetidos à pesadas adubações com $(NH_4)_2SO_4$ durante 7 anos consecutivos, apresentavam Al da ordem de 7 e.mg/100 g de solo. Esses mesmos solos quando receberam calagem (6 toneladas de calcário/ha), imediatamente antes do plantio, simplesmente triplicaram a produção e 18 meses depois apresentavam teores de Al da ordem de 0,5 e.mg/100 g. Ressalte-se que esses solos tem elevado "poder tampão". Aplicações entre 0 e 40 toneladas de calcário/hectare permitiram uma variação no valor do pH de apenas 1 unidade, de 3,8 para 4,8, respectivamente enquanto que o Al foi diminuído de 10,2 para 0 e.mg/100 g de solo. É válido acrescentar que esses solos possuem 3,6% de matéria orgânica, a qual provavelmente está associada ao seu elevado "poder tampão".

Quando se confrontam os conceitos de calagem para cana-de-açúcar desenvolvidos por *AYRES (1962 e 1965)* para as condições do Havai com aqueles que a literatura apresenta (*ABRUÑA et alii, 1968*) para os canaviais de Porto Rico, nota-se uma certa discordância, basicamente no aspecto dos níveis tóxicos de Al trocável. Por sua vez, *WANG et alii (1959)* informam sobre aumentos de 20% na produção de cana em Formosa pela aplicação de calcário com a correspondente elevação do pH original de 4,9, para 7,0 ou 8,0. *HUMBERT (1963)* informa que nas Filipinas a calagem é praticada em solos com pH entre 6,0 e 6,5 e contendo uma porcentagem de saturação de Ca relativamente alta. As respostas à calagem nesse caso, ainda segundo *HUMBERT*

(1963), poderiam estar associadas à liberação do N da matéria orgânica daqueles solos. Por outro lado Fassbender e Molina (1969), citados por *KAMP-RATH (1973)*, relatam aumentos na produção da cana-de-açúcar, em solos ácidos da Costa Rica, com aplicações moderadas de calcário. À taxas mais altas de calcário, os rendimentos diminuíram.

Para as condições brasileiras de cultivo (Nordeste e Centro-Sul), a calagem para a cultura da cana-de-açúcar é uma prática em expansão. Entretanto, apesar de órgãos como o Instituto Agrônomo de Campinas (*ESPI-RONELO e OLIVEIRA, 1972*) recomendar a aplicação de calcário em solos com Al acima de 0,50 e.mg/100 g de solo, não existe na literatura nacional um vigoroso suporte experimental que acoberte aquela recomendação e nem aconselhe a prática da calagem para a cana-de-açúcar em termos de reais necessidade e quantidade. Pelos poucos resultados publicados ou em publicação, a resposta da cana-de-açúcar à calagem para as condições de solo de São Paulo, assemelham-se bastante com aquelas do Havaí.

WUTKE et alii (1960) e WUTKE e ALVAREZ (1968), trabalhando com "solos originalmente pobres e depauperados" da Usina Ester, em Cosmópolis - SP, encontraram uma significativa resposta à aplicação de calagem. Entretanto, resultados obtidos em 1972 por *GUIMARÃES (informação pessoal)* e aqueles de *GUIMARÃES et alii (1975)*, obtidas em experimentos em solos da Estação Experimental da COPERSUCAR em Piracicaba, mostraram que a calagem não teve influência sobre as produções de cana. Do mesmo modo *CARDOSO** (dados não publicados), trabalhando em Latossol Roxo e em Podzólico Vermelho Amare

* *ANTONIO CARDOSO* - Aluno de Pós-Graduação a Nível de Doutorado do Curso de Solos e Nutrição de Plantas. Tese em andamento (ESALQ-USP).

lo, cujas condições iniciais em termos de pH e de Al trocável atendiam as exigências para aplicação de calcário preconizadas pelo Instituto Agrônomo de Campinas e por *MALAVOLTA et alii* (1974), também não obteve qualquer respostas. Os dados revelaram que com produções similares, as canas cultivadas no LR apresentavam um teor foliar de Al de 350 ppm enquanto que nas cultivadas no PVA aquele teor era de 150 ppm. *BITTENCOURT** (*informação pessoal*) conduzindo vários experimentos com calcário em solos quimicamente pobres de diversas Usinas de São Paulo, não encontrou nenhuma resposta, estatisticamente significativa, em produção de cana, pela ação da calagem.

Uma apreciação dos principais indicadores de calagem, revela (*GARGANTINI et alii*, 1970) que apenas 5% dos solos de São Paulo estão com pH abaixo de 5,0 e que cerca de 80% se apresentam com $Al < 0,50 \text{ e.mg}/100 \text{ g}$ e $Ca^{2+} + Mg^{2+} > 3,00 \text{ e.mg}/100 \text{ g}$ de solo. Por outro lado, *GALLO et alii* (1968), num levantamento do estado nutricional dos canaviais paulistas verificaram que 7 e 15% destes se apresentavam dentro da faixa de carência para Ca e Mg, respectivamente.

VENEMA (1961), após avaliar estudos sobre calagem em diversos países, concluiu que "em solos ácidos, tropicais e sub-tropicais, a adição de calcário será recomendável apenas onde o Ca e/ou Mg, como elementos nutrientes, tenham se tornado um fator limitante ao desenvolvimento das culturas".

3.2. O interrelacionamento catiônico no sistema solo-planta

CORDEIRO (1978), numa ampla revisão de literatura sobre o

* V.C. *BITTENCOURT* - Professor Adjunto - Departamento de Química - ESALQ - USP.

comportamento do Ca, K e Mg no sistema solo-planta, mostrou que:

- as interações entre esses três cátions se iniciam na superfície trocadora (parte mineral e orgânica da fração argila) do solo, através, principalmente, do caráter seletivo das cargas do complexo adsortivo. De uma forma geral, para solos tropicais a fração argila demonstra maior "preferência" em adsorver Ca do que Mg e K e entre Mg e K, o Mg é o mais "preferido".

- intimamente associado ao comportamento manifestado pela superfície trocadora, está aquele da fase líquida do solo. Isto é, dado um sub-sistema "fase sólida-solução" do solo, entre dois cátions, um com e o outro sem "preferência" de adsorção na superfície trocadora, no equilíbrio, um predominará na fase sólida enquanto o outro na fase líquida.

- quando se está interessado na disponibilidade de um desses três cátions às plantas, particularmente o K, devido às possíveis influências que o sub-sistema "fase sólida-solução" pode determinar sobre o sub-sistema "íon-raiz", esta disponibilidade é melhor definida em termos da relação de atividade ($RA_K = a_K \cdot a_{(Ca+Mg)}^{-1/2}$, por exemplo) ou da concentração ($\frac{Ca + Mg}{K}$), do que mesmo em termos de valor absoluto de concentração do nutriente no solo (sub-sistema "fase sólida-solução").

- as plantas são envolvidas pelo interrelacionamento Ca-K-Mg desde a superfície externa da raiz, através de variações do comportamento físico-químico das células que compõem aquele órgão, passando pela fisiologia da absorção de nutrientes, até a complexidade bioquímica envolvida com o ciclo dos ácidos tricarboxílicos e o metabolismo do N. Por outro lado, verifica-se também que as plantas reagem as interrelações entre Ca-K-Mg em fun-

ção de suas características genéticas.

Numa visão global, *CORDEIRO (1978)* informa que tanto o Ca e o Mg podem deprimir a absorção de K, como este também pode deprimir a absorção dos outros dois cátions pelas plantas. Sob certas condições, o Ca e o Mg podem, por sua vez, estimular a absorção do K.

Restringindo-se à cultura da cana-de-açúcar, a literatura tem apresentado resultados que permitem as seguintes considerações:

- a assimilação excessiva de Ca frequentemente interfere com a assimilação de outros macro-nutrientes e reduz a mobilidade de certos micronutrientes, Fe e Mn principalmente (*EVANS, 1959*), podendo, também, chegar a provocar sintomas externos de deficiência de B (*CORDEIRO et alii, 1976*). A aplicação de quantidades moderadas de calcário em solos da Guiana Britânica com baixos teores de Ca tem provocado incrementos na assimilação de K, ocorrendo o inverso quando se aplica Nitrato de Cálcio em pulverização foliar, com o crescimento do conteúdo de Ca e decréscimo no de K (*EVANS, 1959*).

- variação nas relações Ca/Mg dos solos apresentam reflexos nas características de crescimento (Lal e Tandon, 1954, citados por *EVANS, 1959*) e que essas mesmas relações tem sido consideradas na avaliação do "status" de Ca nos solos na Guiana Britânica (*EVANS, 1959*). *EVANS et alii (1956)* mostraram que as razões $\frac{Na + Mg}{K}$ ou $\frac{Na + Mg}{Ca}$ das águas percoladas dos solos, tem sido utilizadas para a avaliação da disponibilidade de K e Ca para a cana-de-açúcar.

- *EVANS (1959)* informando sobre relacionamento K/Mg na Guia-

na Britânica, esclarece que nos solos daquele país existe um marcado antagonismo entre esses dois cátions, sendo comum a deficiência de K provocada por elevados níveis de Mg nas plantas.

- para as condições do Havai, em solos com baixo índice de saturação de bases e com predomínio de caulinita na fração argila, *HUMBERT (1955)* apresenta exemplos experimentais onde se por um lado, a calagem excessiva quebra o equilíbrio catiônico, por outro lado esse equilíbrio também é rompido pela pesada adubação potássica, implicando, geralmente, em sérios prejuízos.

- do trabalho de *ORLANDO FILHO e HAAG (1976)* sobre variedades x solos e o estado nutricional da cana-de-açúcar, pode-se extrair as seguintes observações:

a. Considerando-se para Ca e K o teor foliar de 1% com nível de referência, verifica-se que, dependendo do tipo de solos, todas as variedades testadas quando apresentam teores foliares de $K > 1\%$, possuem conteúdo de $Ca < 1\%$ e vice-versa. Há solos onde praticamente essa manifestação inexistente (Podzólico Vermelho Amarelo, variação Laras) enquanto que em outros praticamente predomina, independentemente da variedade (Latosol Vermelho Escuro - Orto e Terra Roxa Estruturada). Da mesma forma, outras variedades apresentam (IAC 52/150) ou não (CB 61-80) esse processo antagônico, independente do solo.

b. Quanto ao relacionamento K/Mg, o comportamento mais típico é o da variedade IAC 52/140 a qual, nos quatro solos experimentais apresenta teores foliares, desses dois cátions, totalmente inversos. Entre os

tipos de solos, independentemente das variedades, o PV1s apresenta os maiores teores foliares de K, porém, os menores de Mg.

c. O solo PV1s, apesar de não ser, quimicamente, o mais rico em K trocável, produz plantas contendo os maiores teores foliares de K. Deve ser salientado, contudo, que nesse solo, a relação entre K e Ca trocáveis é o dobro daquela encontrada nos outros três solos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Solos utilizados

Amostras superficiais (0 - 30 cm de profundidade) foram coletadas dos seguintes solos do Estado de São Paulo, normalmente cultivados com cana-de-açúcar:

LR: Latossol Roxo (Typic Haplorthox) coletado no talhão número 18 da Estação Experimental de Cana da COPERSUCAR, Piracicaba. De acordo com o levantamento pedológico que consta dos arquivos técnicos daquela Estação, este solo pertence aos solos da Unidade I cujas principais características são:

- a. solos profundos, avermelhados, de boa drenagem;
- b. classe textural argila para todos os horizontes com uma diferença do teor de argila entre os horizontes A e B em torno de 10%;
- c. o teor de silte é relativamente elevado, variando entre 14 e 20%;

- d. quimicamente são solos de fertilidade média a boa, com capacidade de troca catiônica sempre abaixo de 10 e.mg/ 100 g;
- e. apresentam um pequeno horizonte textural (em torno de 20 cm) colocado acima do B latossólico;
- f. o mineral dominante na fração argila é a caulinita (acima de 60%), aparecendo ainda naquela fração a gibbsita (valor máximo de 11%) e material amorfo (teor máximo de 26%).

LVA: Latossol Vermelho Amarelo, fase arenoso (Typic Acrustox) coletado no Município de Rio Claro, na fazenda da Secretaria da Agricultura do Estado, a 20 km do centro da cidade. *ANDRADE (1971)*, trabalhando com esse mesmo solo, descreve que as principais características dessa Unidade são:

- a. solos profundos, de textura leve, bem drenados e de coloração vermelho amarelado;
- b. classe textural barro arenoso no horizonte A e barro argilo arenoso nos demais horizontes;
- c. teor de silte variando de 1,8 a 5,5%;
- d. solos ácidos e de baixa fertilidade;
- e. na fração argila, a caulinita é o mineral de argila predominante, apresentando-se entre 54,3 e 63,8%. Aparecem ainda a vermiculita (teor sempre inferior a 14,3%), gibbsita (valor máximo de 22,6%) e material amorfo (sempre inferior a 12,1%).

Após coletados e transportados para as proximidades da casa-

-de-vegetação, os solos foram postos a secar ao ar e posteriormente tamizados em peneira de 4 mm. Tomaram-se, então, diversas amostras simples de cada solo para a caracterização química e física, seguindo-se as metodologias usuais dos Laboratórios de Fertilidade de Solo.

4.2. Condições experimentais

O delineamento Experimental foi inteiramente casualizado, cada solo recebendo 5 níveis de K e 5 níveis de calagem (Tabela 1), num esquema fatorial 5^2 com 3 repetições. O calcário foi aplicado como carbonatos de Ca e Mg (p.a.). Para o solo LVA, a calagem correspondeu a 0; 1; 2; 3 e 4 vezes o teor de (Ca + Mg) trocável. Para o solo LR, a calagem foi equivalente a 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 vezes o teor trocável de (Ca + Mg). Após a aplicação do material corretivo os solos foram umedecidos à aproximadamente a capacidade de campo e assim permaneceram por 15 dias, após os quais, aplicou-se o K.

K foi aplicado como KCl (fertilizante comercial) nos níveis de 0; 25; 50; 75 e 100 ppm do elemento a ambos os solos. A todos os vasos, no mesmo dia da aplicação do K, foram adicionadas 150 ppm de N, 143 ppm de S e 30 ppm de P como $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ e $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (fertilizantes comerciais). Oito dias após a aplicação dos macronutrientes (K, N, P e S), as mudas, obtidas como se descreve a seguir, foram transplantadas para os vasos. Dez dias após o transplanta, foram adicionados, também a todos os vasos 1,2 ppm de Zn ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$), 1,3 ppm de Cu ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$), 0,3 ppm de B ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) e 0,25 ppm de Mo ($(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$). Com excessão do calcário, toda a fertilização restante foi feita em forma líquida e as concentrações (ppm) são relati

Tabela 1. Quantidades* de CaCO_3 , MgCO_3 e KCl aplicadas aos solos em correspondência aos níveis de calagem e K descritos no texto.

Níveis de K ou de calagem	Solo LVA			Solo LR		
	CaCO_3 g/vaso	MgCO_3 t/ha	KCl g/vaso kg/ha	CaCO_3 g/vaso	MgCO_3 t/ha	KCl g/vaso kg/ha
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	1,15	0,14	0,12	2,75	0,34	1,00
2	2,30	0,28	0,24	5,50	0,68	2,00
3	3,45	0,42	0,36	8,25	1,02	3,00
4	4,60	0,56	0,48	11,00	1,36	4,00

* As transformações de g/vaso em t/ha e kg/ha foram feitas admitindo-se $2,5 \times 10^6$ kg de solo/ha para uma profundidade de 20 cm.

vas ao solo.

A variedade de cana utilizada foi a NA 56-79, empregando-se toletes de 1 única gema, previamente postos a germinar em extrato arenoso e de onde foram retirados para o plantio 10 dias após a emergência. Plântulas de tamanho uniforme foram selecionadas, transplantando-se uma para cada vaso e da qual apenas o colmo principal foi deixado desenvolver-se, eliminando-se manualmente as brotações secundárias. As plantas se desenvolveram durante 6 meses sob condições de casa-de-vegetação em vasos contendo 20 kg de solo.

4.3. Análise da planta

Quanto da colheita do experimento, de cada planta foram tomadas as amostras foliares, constituídas da parte mediana das folhas, sem a nervura principal. As folhas escolhidas foram as de número +3, +4, +5 e +6, segundo numeração proposta por *CLEMENTS e GHOTB (1968)*. Após lavagem em água corrente, estas amostras foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar, em 75°C de temperatura, até peso constante.

Depois de seco, o material foi pesado, moído em moinho com peneira número 20. Obtiveram-se, então, os extratos nitricoperclórico nos quais foram analisados P, K, Ca e Mg. O Ca e Mg foram determinados por absorção atômica, o K por fotometria de chama e o P por colorimetria, tudo de acordo com as recomendações de *SARRUGE e HAAG (1974)*. O N foi determinado em auto-analisador, conforme metodologia recomendada por *JORGENSEN (1977)*.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos dados originais, os quais, no decorrer deste capítulo são apresentados em forma de Tabelas e Figuras, estão relacionadas como apêndice no fim deste trabalho. Acompanham também as análises estatísticas referidas no texto.

5.1. Características químicas dos solos e a produção de colmo

Algumas características químicas e granulométricas dos solos estudados estão apresentadas na Tabela 2. Verifica-se que pelos padrões de fertilidade (*ANDA, 1975*) ambos os solos são caracterizados como fortemente ácidos ($\text{pH} < 5,0$) pobres em Ca + Mg ($< 3,00 \text{ e.mg/100 g}$) e médios em K ($0,12 < K < 0,40 \text{ e.mg/100 g}$). Portanto, para o cultivo de cana-de-açúcar (*ESPIRONELO e OLIVEIRA, 1972, MALAVOLTA et alii 1974*) é recomendada a calagem em ambos os solos, sendo que no solo LR, a necessidade de corretivo é reforçada ainda pelo teor de Al $> 0,50 \text{ e.mg/100 g}$ (*ESPIRONELO e OLIVEIRA, 1972*). Quanto aos aspectos da adubação potássica e diante das elevadas necessidades apresentadas pela cana (*MALAVOLTA et alii, 1974*), pode-se inferir que

o solo LVA mostra-se praticamente carente neste elemento. *STEWART (1969)*, fazendo uma revisão sobre a fertilização potássica na cultura da cana-de-açúcar para as condições da África do Sul, relata como nível crítico o teor de 125 ppm (0,32 eq.mg/100 g) de K trocável, extraído pelo acetato de amônio 1 N.

Tabela 2. Características químicas* e granulométricas** dos solos empregados.

Solo	Granulometria (%)			pH		Cátions trocáveis (e.mg/100g)					
	Areia	Silte	Argila	H ₂ O	KCl	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Al ³⁺	H ⁺	CTC
LVA	80,1	2,8	17,1	5,0	4,0	0,13	0,10	0,17	0,18	1,67	2,35
LR	41,0	15,0	44,0	4,8	4,0	0,67	0,49	0,38	1,15	3,83	6,52

* Determinadas segundo as recomendações de *CATANI e JACINTHO (1974)*.

** Determinadas pelo método da pipeta descrito por *KILMER e ALEXANDRE (1949)*.

De acordo ainda com diversos autores citados por *HUSZ(1972)*, a cultura da cana-de-açúcar remove de 1,00 a 2,50 kg de K/tonelada de cana, o que implica na necessidade de um suprimento de 0,07 a 0,17 eq.mg K/100 g de solo para cobrir apenas o que é exportado numa produção de 80 toneladas de colmo/hectare. Assim sendo e em função da granulometria predominantemente arenosa do LVA reforça-se o argumento do baixo poder de suprimento de K desse solo, enquanto que, por suas características totalmente opostas, o LR revela-se bem suprido no elemento para a cultura da cana-de-açúcar.

Os resultados de produção de colmos para o solo LVA em função da calagem e da adubação potássica, ilustrados na Figura 1, vem confir-

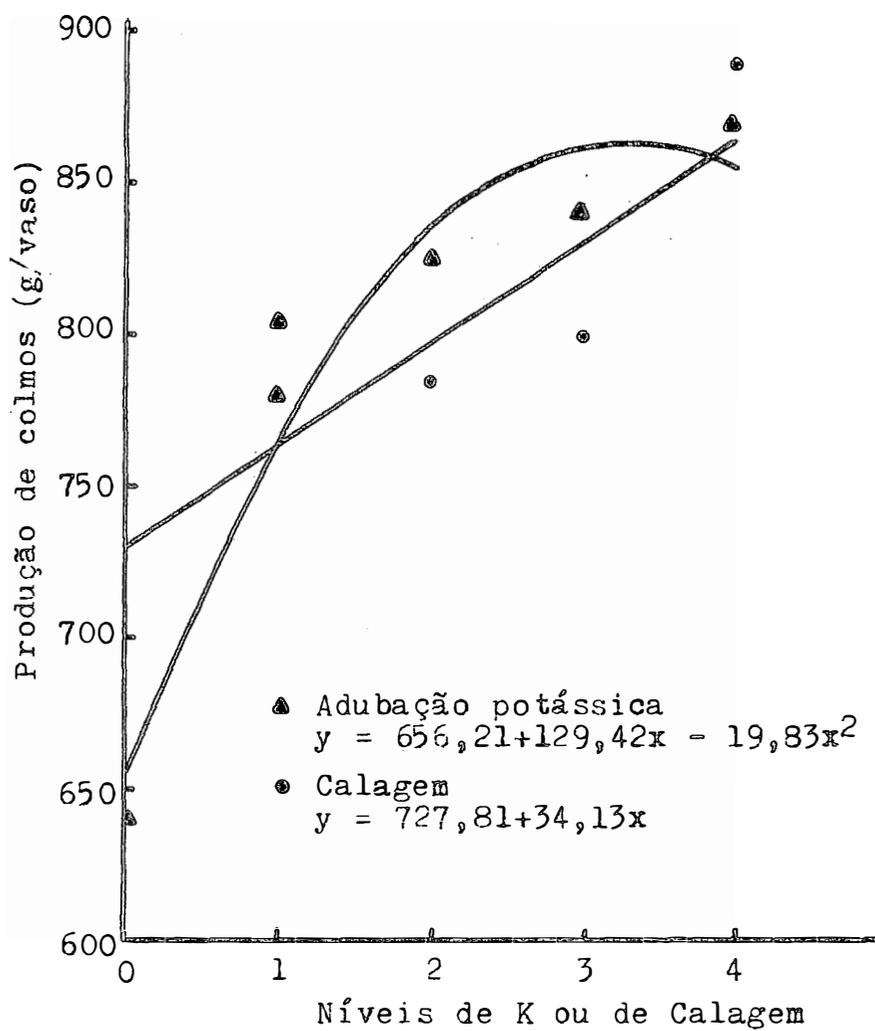


Figura 1. Produção de colmo no solo LVA em função dos níveis de K ou calagem (ver Tabela 1) aplicados.

mar o que foi discutido no parágrafo anterior a respeito das necessidades de calagem e K desse solo. Conforme se verifica, enquanto o comportamento da produção em função da adubação potássica é descrito por uma curva do 2º grau, cujo ponto de máxima praticamente coincide com o último nível de K aplicado no solo, a ação da calagem se traduz linearmente. Por outro lado, devido ao esquema fatorial, o efeito principal de cada nível de um dos tratamentos assim apresentados, engloba os efeitos dos cinco níveis do outro tratamento. Dessa forma, a produção do nível zero de K abrangendo os cinco níveis de calagem, revela-se 10% menor que a produção do nível zero de calagem, o qual abrange os cinco níveis de K. Dentro desse enfoque, dois aspectos são ressaltados de imediato:

1. A ação depressiva da calagem sobre o K nativo do solo. Embora sem se utilizarem de dados de produção, *ORLANDO FILHO et alii (1977)* e *CORDEIRO (1978)*, para as condições de solo de São Paulo, demonstraram que a calagem deprime a disponibilidade de K para a cana-de-açúcar.

2. O poder fertilizante do K em relação à cultura da cana-de-açúcar. Isto é, dentro de um solo onde se evidencia muito mais uma deficiência de Ca e Mg, a ação de adubação potássica é bem pronunciada.

Para o solo LR, os resultados de produção de colmo em função dos níveis de K e calagem são apresentados na Figura 2. Ressalte-se que a análise de variância não revelou nenhum efeito estatisticamente significativo nesse solo para os tratamentos empregados. Contudo, as regressões que descrevem o comportamento em função desses mesmos tratamentos, apresentaram significância estatística. Assim sendo, os dados de produção em relação aos níveis de K são descritos por uma parábola equidistribuída, isto é, o

ramo ascendente se situa do nível zero ao nível 2, enquanto o ramo descendente se encontra entre os níveis 2 e 4 de K. Por sua vez a ação da calagem se manifesta através de equação do 1º grau, decrescente em relação aos níveis adotados. Verifica-se, também nesse caso, uma redução de 10% na produção no nível zero de K em relação ao nível zero da calagem.

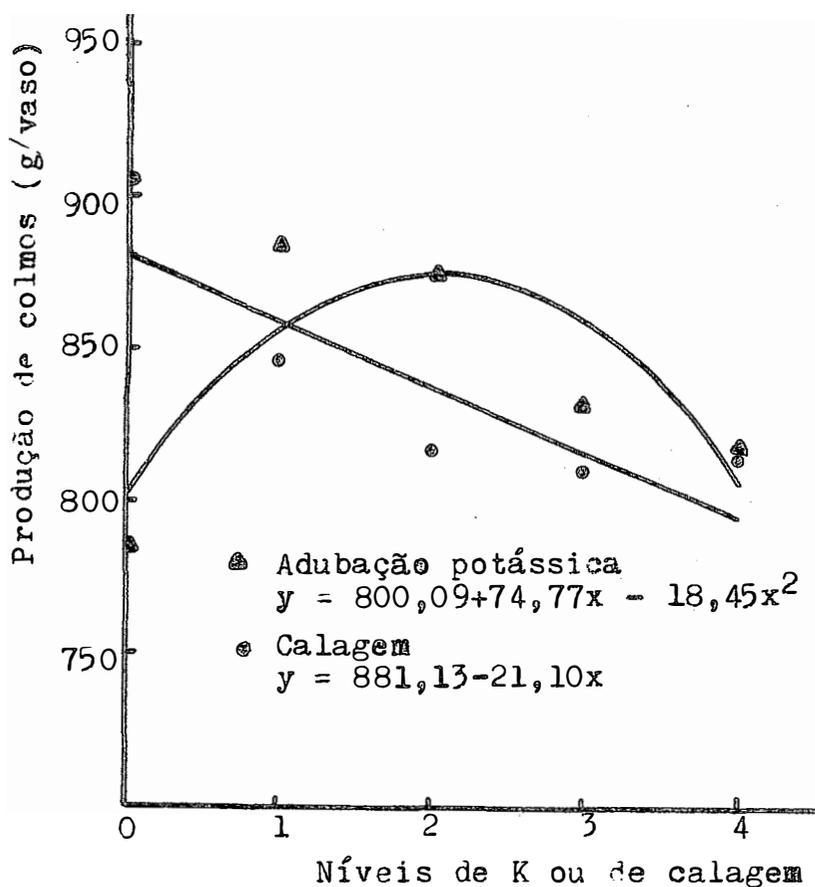


Figura 2. Produção de colmo no solo LR em função dos níveis de K ou calagem (ver Tabela 1) aplicados.

Uma apreciação conjunta das características químicas e dos resultados de produção de colmo em função da calagem, tanto no solo LVA como no LR, evidencia que a resposta da cana-de-açúcar, pelo menos em termos agrícolas, para as condições de solo do Estado de São Paulo são bem semelhantes às aquelas demonstradas por *AYRES (1961, 1962, 1965)* para as condições do Havaí. Isto é, a ação da calagem traduzida em aumentos de produção só se manifesta quando os teores de Ca e/ou Mg do solo forem realmente muito baixos. Para os solos paulistas, a *COPERSUCAR (1977)*, numa primeira aproximação de recomendação de calcário para a cultura da cana-de-açúcar, propõe a seguinte equação: tonelada de calcário/ha = $(1,5 - Ca^{2+}) + (Al^{3+} \times 1,5)$ salientando que o material neutralizante não deve ser usado quando:

a. O teor de Ca trocável está entre 1,5 e 2,0 e.mg/100 g e Al^{3+} é menor que 0,5 e.mg/100 g de solo.

b. O teor de Ca trocável é maior que 2,0 e.mg/100 g e o de Al^{3+} menor que 1,0 e.mg/100 g de solo. Entretanto, de acordo com *BITTEN-COURT (informação pessoal)* a ausência de respostas à calagem em solos com teores muito baixos de Ca e Mg trocáveis (em torno de 0,30 e.mg de Ca ou Mg/100 g de solo), é, indicativa da necessidade de se reformular a equação de recomendação de calcário proposta pela *COPERSUCAR (1977)*.

Com base no fato de que a análise estatística não revelou nenhuma interação significativa, em ambos os solos, entre calagem e adubação potássica sobre a produção de colmo e que, tanto para Ca como para Mg ou K, o mais alto nível de fertilização adotado para o solo LVA é menor ou no máximo coincidente com o mais baixo nível de fertilização do solo LR, foi feita uma aproximação de estabelecimento de nível crítico para aqueles elemen-

tos. Para tanto, utilizaram-se dados de produção e tratamentos, de ambos os solos em conjunto, correspondentes a diagonal principal do fatorial (K_0L_0 , K_1L_1 , K_2L_2 , K_3L_3 e K_4L_4 , onde K_iL_i representam a adubação potássica e a calagem nos respectivos níveis adotados). Os resultados assim obtidos são apresentados nas Figuras 3, 4 e 5. A verificação de que os pontos obtidos a partir do gráfico (teor do elemento do solo x produção relativa) se agrupavam, em relação à abscissa, em duas situações distintas (inclinadas ou paralelas), levou ao estabelecimento das retas que melhor os representassem. Dessa forma, o nível crítico foi estabelecido como sendo aquele determinado na abscissa pela projeção ortogonal da interseção das duas retas (WAUGHET, 1975). Assim sendo, o nível crítico de K, Mg e Ca foram estabelecidos como sendo 0,25; 0,25 e 0,28 e.mg/100 g de solo, respectivamente. Para K o valor obtido está bastante próximo daquele estabelecido por VAN RAIJ (1974), que avaliando diversos experimentos em adubação potássica em cana-de-açúcar, demonstra a baixíssima probabilidade de se obter resposta à aplicação do K em solos com teores trocáveis maiores que 0,21 e.mg/100 g. Por outro lado, embora estabelecendo quatro níveis de fertilidade como faz VAN RAIJ (1974), a COPERSUCAR (1977) recomenda, mesmo em pequena dose (40kg de K_2O/ha), a aplicação de adubos potássicos em solos com teores de K trocável superiores a 0,20 e.mg/100 g de solo.

Quanto aos teores críticos de Ca e Mg trocáveis, embora aquele determinado para o Ca esteja bem abaixo do estabelecido por AYRES (1961) para as condições do Havai (0,50 e.mg/100 g de solo), de uma forma geral ambos são consistentes com as novas observações experimentais de BITTEN-COURT (informação pessoal) para solos de São Paulo. Por sua vez, uma reavaliação das Figuras 3, 4 e 5 mostra que enquanto a reta que descreve o platô

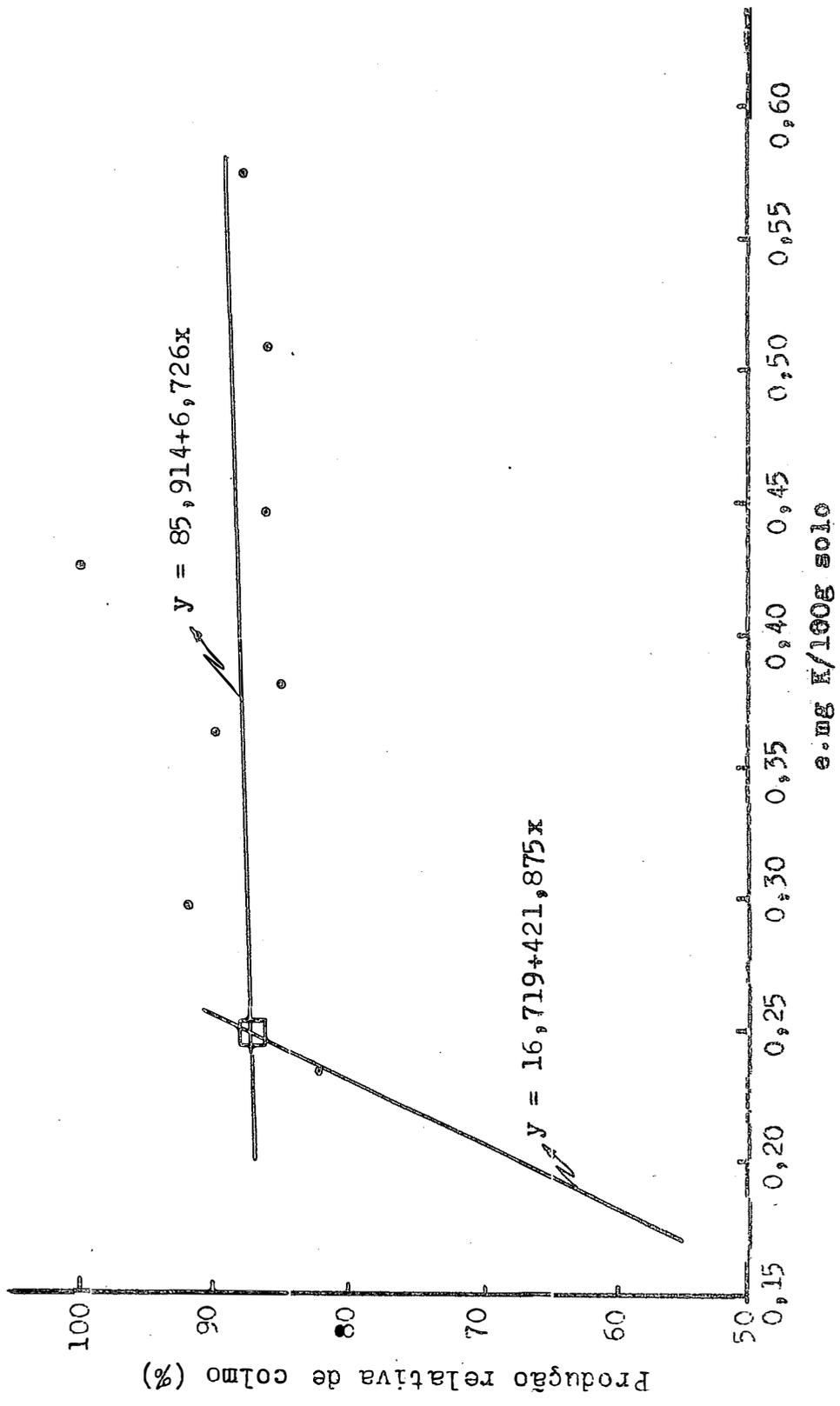


Figura 3. Teor de K trocável versus produção relativa de colmos.

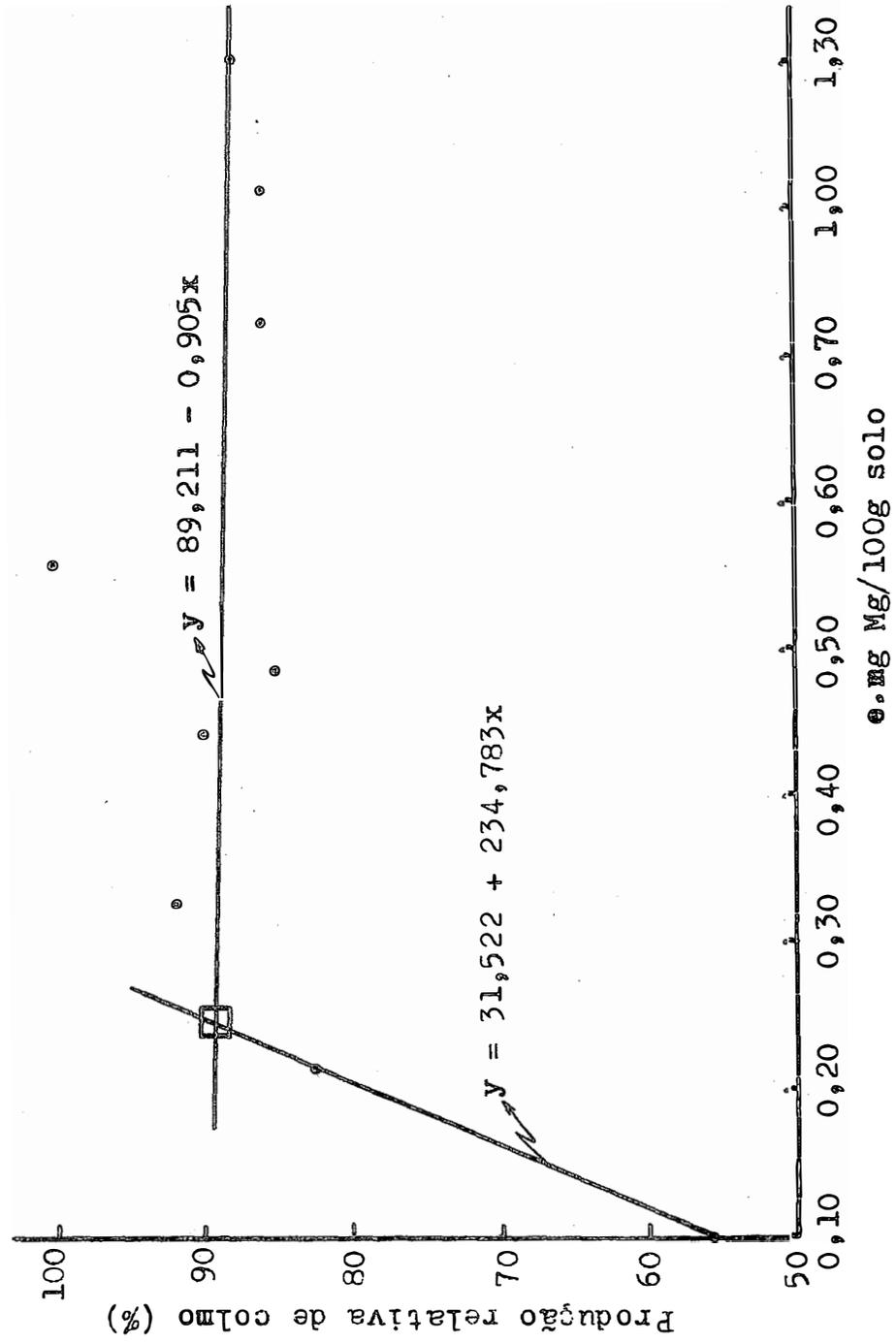


Figura 4. Teor de Mg trocável versus produção relativa de colmos.

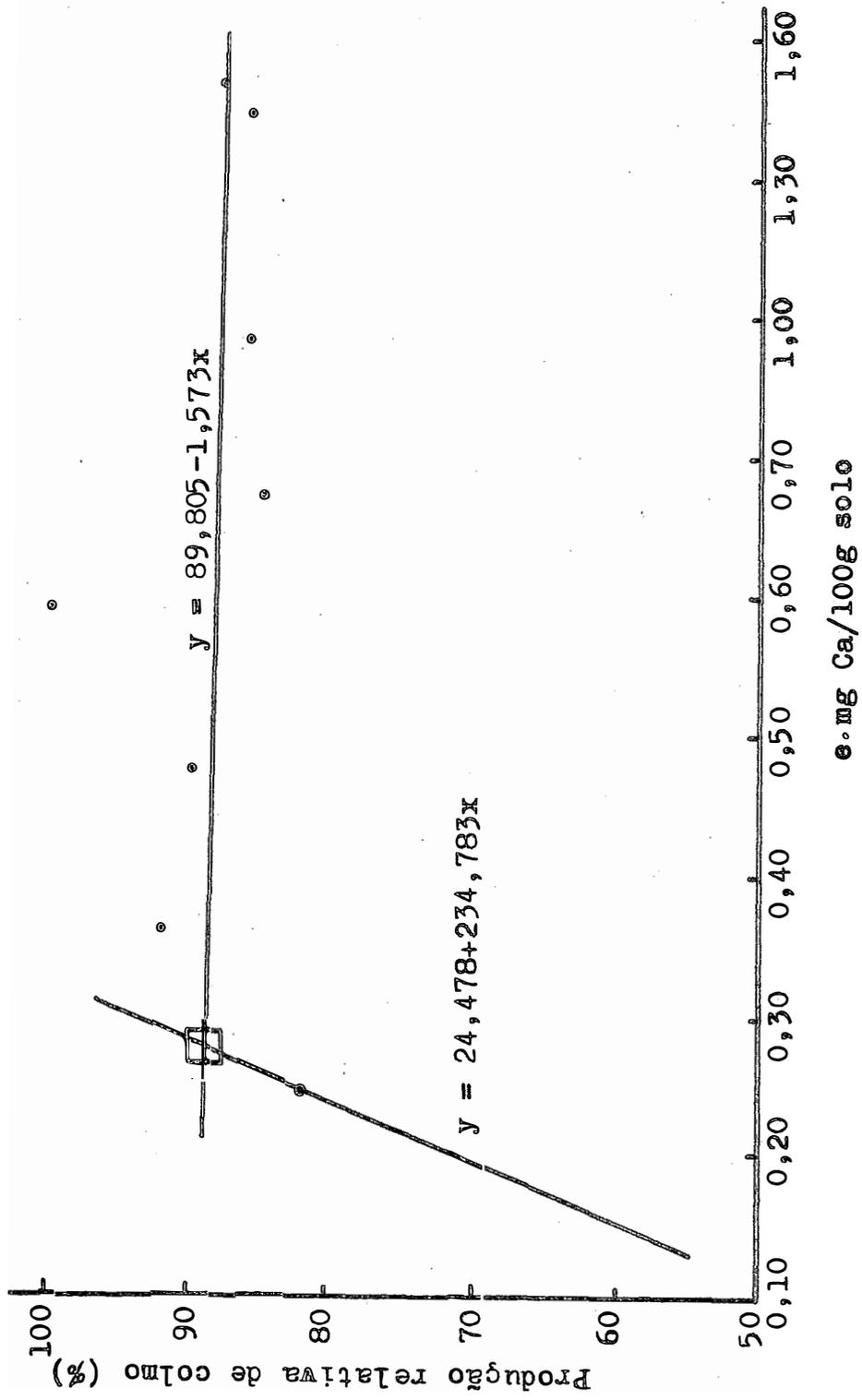


Figura 5. Teor de Ca trocável versus produção relativa de colmos.

de produção em função dos níveis de Ca e Mg dos solos apresentam um coeficiente de declividade (b), praticamente unitário, a mesma reta para K apresenta um (b) sensivelmente diferente da unidade. Isto implicaria numa lenta, porém progressiva resposta aos incrementos na adubação potássica mesmo em níveis bem acima dos considerados críticos, o que de uma certa forma justifica as recomendações de aplicação de K pela *COPERSUCAR (1977)* quando o teor trocável é maior que 0,20 e.mg K/100 g de solo. Entretanto quando se relacionou os dados de produção relativa (máxima produção absoluta = 100) com os teores e relação entre os teores dos elementos nos solos, através de uma equação do 2º grau, os coeficientes de determinação (R^2) obtidos com os teores de cada elemento foram bem menores do que aqueles coeficientes encontrados quando se considerou as relações entre os teores (Tabela 3).

Tabela 3. Equações que relacionam a produção relativa (Y) de colmos em função dos teores trocáveis (e.mg/100 g de solo) dos cátions dos solos ou de suas relações (X).

Teores ou relações entre os teores dos elementos (X)	Equação estabelecida	Coefficiente de determinação (R^2)
K	$Y = 6,23 + 404,64X - 471,31 X^2$	0,76 ***
Mg	$Y = 60,64 + 79,83X - 46,28 X^2$	0,58 *
Ca	$Y = 61,63 + 68,30X - 35,51 X^2$	0,51 *
K/Mg	$Y = 55,41 + 83,26X - 49,46 X^2$	0,81 ***
K/Ca	$Y = 36,46 + 158,62X - 110,30 X^2$	0,86 ***
K (Ca + Mg)	$Y = 47,82 + 226,61X - 295,13 X^2$	0,83 ***
Ca/Mg	$Y = 780,74 - 1104,38X + 431,62 X^2$	0,38 ns

Para as condições brasileiras de solo, tem sido mostrado que, geralmente, a disponibilidade do K do solo às plantas é melhor definida em termos de relações com os de mais cátions. Assim, as relações Ca/K ou (Ca+Mg)/K foram considerados melhores índices de disponibilidade de K que o teor trocável para a cultura do algodão (FUZZATO e FERRAZ, 1967, SILVA, 1971). Para a cultura do trigo, KALCKMANN e FRATINI (1967) estabelecem a relação K/Ca com melhor índice de disponibilidade de K.

As relações entre K, Ca e Mg nos solos e a produção da cana-de-açúcar tem sido considerada por alguns autores (HUMBERT, 1955, Loosin et alii, 1955 e Tabayoyong e Bosila, 1958, citados por TABAYOYONG e ROBENIOL, 1965). HUMBERT (1965) demonstra que decréscimo de produção de cana-de-açúcar ocorrem quando se faz pesada calagem (10 a 40 toneladas/ha) em solos com baixíssima saturação de bases, sendo o decréscimo de produção devido ao desequilíbrio catiônico provocado pela calagem. Cita ainda HUMBERT (1965) que em certos solos havaianos, a maior dificuldade de se estabelecer um nível adequado de K para a cana-de-açúcar é devida, indubitavelmente, às elevadas saturações em Ca do complexo de troca do solo. Por sua vez, Loosin et alii (1955) citados por TABAYOYONG e ROBENIOL (1965) informam que para se incrementar a produção de cana-de-açúcar em solos das Filipinas que haviam recebido calagem, havia necessidade de se aplicar níveis de K bem mais elevados que os normais. Também citados por TABAYOYONG e ROBENIOL (1965), Tabayoyong e Bosila (1958) relatam que solos ácidos das Filipinas, cultivados com cana-de-açúcar, davam respostas à adubação potássica somente quando previamente recebiam calagem.

5.2. A análise foliar e a produção de colmos

O enfoque dado aos resultados das análises foliares foi o que permitiu um melhor confronto com os resultados de produção, porém sem a preocupação de uma explicação geral e definitiva; o objetivo foi esclarecer parcialmente as respostas à calagem e à adubação potássica em ambos os solos. Dessa forma, foram estabelecidas correlações entre as produções obtidas nos cinco níveis de cada tratamento (calagem ou adubação potássica) e os respectivos teores ou relações entre teores de nutrientes nas folhas. Os coeficientes de correlação assim obtidos são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre produção de colmos e teores e relações de nutrientes nas folhas, para cada tipo de solo, em função da calagem e da adubação potássica.

Teores e relações de nutrientes nas folhas ^{1/}	Coeficientes de correlação (r)			
	Solo LVA		Solo LR	
	Calagem	Adubação Potássica	Calagem	Adubação Potássica
% P	-0,141	0,866 **	0,068	0,106
% Ca	0,279	-0,709 *	-0,647 **	-0,746 *
% Mg	0,745 *	-0,207	-0,852 **	-0,247
% K	-0,453	0,879 ***	0,362	0,064
% N	-0,134	-0,052	-0,198	0,468
Ca/Mg	-0,682 *	-0,425	0,671 *	-0,605
K/Ca	-0,415	0,861 **	0,650 *	0,488
K/Mg	-0,632 *	0,805 **	0,816 **	0,160
K/(Ca+Mg)	-0,606	0,863 **	0,812 **	0,360
N/P	-0,016	-0,904 ***	0,069	-0,288
Cátion/Anion	0,665 *	0,500	-0,739 *	-0,075

^{1/} Para o estabelecimento das relações entre nutrientes, os teores expressos em percentagem da matéria seca foram transformados em e.mg de nutriente/100 g de matéria seca. Para o caso do N e do P, transformou-se em e.mg NO₃⁻ e e.mg PO₄³⁻/100 g de matéria seca respectivamente.

Como se verifica, há coeficientes positivos e coeficientes negativos, indistintamente em ambos os solos. Entretanto, para uma cuidadosa interpretação, deve-se levar em consideração que, conforme se mostra nas Figuras 1 e 2, enquanto a calagem e a adubação potássica agiram positivamente na produção de colmos no solo LVA, para o solo LR tiveram comportamento totalmente oposto, ocasionando um decréscimo na produção.

Para o solo LVA, pode-se observar que a calagem, contribuiu significativamente e positivamente para os aumentos dos teores foliares de Mg e das relações cátions/anion. Por outro lado, as relações Ca/Mg e K/Mg por terem sido negativamente correlacionadas com a produção em função da calagem, estão sugerindo que o Mg nesse solo, além de ser altamente limitante do ponto de vista do teor absoluto, também o é no aspecto do equilíbrio catiônico. Isto é, para se manifestar positivamente em termos de produção, o Mg tem que competir no solo e na planta com o Ca e o K. Por sua vez, a ação da adubação potássica se manifesta de uma forma positiva sobre a produção de colmo por intermédio das elevações nos teores foliares de P e K e das relações K/Ca, K/Mg e K/(Ca + Mg). Essa ação positiva também se processa pelo abaixamento dos teores de Ca e das relações N/P. *HUMBERT (1955)*, mostra que a fertilização potássica, reduzindo os teores de Ca, Mg e N, provoca desequilíbrios nutricionais que se traduzem principalmente pela elevação do teor de K na bainha da cana-de-açúcar; por seu turno, o teor de P na bainha se mantendo praticamente inalterado, trouxe reflexo sobre a relação N/P que decresceu com os aumentos da fertilização potássica. Os dados de *TABAYO e YONG e ROBENIOL (1965)*, mostram, por outro lado, que em função da adubação potássica tanto a disponibilidade de K como a disponibilidade de P crescem linearmente.

Se os incrementos lineares de produção do solo LVA pela ação da calagem puderem ser parcialmente esclarecidos em função dos sinais dos coeficientes de correlações, o esclarecimento para os decréscimos de produção ocorridas no solo LR se tornam praticamente imediatos. Isto é, verifica-se que, por exemplo, enquanto no solo LVA a correlação produção x % Mg é positiva, para o solo LR é negativa, assim como todas as demais correlações estabelecidas (significativas ou não) estão sempre se opondo em termos de sinais. Dessa forma, a redução de produção pode ser, pelo menos, parcialmente explicada pelos crescimentos excessivos dos teores foliares de Ca e Mg, que alteram sensivelmente as relações cátion/ânion. Isso comprometeu todo o equilíbrio nutricional, o que se reflete pela diminuição das relações Ca/Mg, K/Ca, K/Mg e K/(Ca + Mg). Quanto a adubação potássica, verifica-se que a única correlação significativa da produção foi com o teor foliar de Ca. Tendo sido negativa, essa correlação pode ser indicadora de que a produção foi realmente prejudicada por um desequilíbrio catiônico, onde o principal cátion agravador foi o Ca. Este argumento é reforçado pela informação de *EVANS (1959)*, segundo o qual, quando os teores foliares de Ca estão fora da faixa de 0,2 - 0,5% podem ocorrer desequilíbrios nutricionais. No solo LR, o teor foliar de Ca seja em função da calagem ou da adubação potássica, está predominantemente acima de 0,5%.

Devido às fortes evidências de interações catiônicas refletidas nos teores e relações foliares, percebe-se a inutilidade de se tentar estabelecer, como foi feito para os teores no solo, os limites críticos. Contudo, é válido esclarecer que no solo LVA os teores foliares de Mg cresceram linearmente com a calagem e a produção, desde 0,05 a 0,18%. Por sua vez, na mesma faixa de tratamento, os teores de Ca variaram de forma menos acen-

tuada e com menor regularidade, de 0,43 a 0,50%. Quanto ao K, no solo LVA, em função da adubação potássica variou de 0,90 a 1,30%. No solo LR, em função da calagem, as plantas relativas ao nível zero daquele tratamento já apresentavam teores foliares de 0,50 e 0,13% de Ca e Mg, respectivamente. No que concerne ao K, apesar de o solo LR ser naturalmente bem mais fértil nesse elemento que o solo LVA, com exceção do nível zero de adubação potássica, em todos os demais níveis, nível a nível, os teores foliares são menores que do LVA. Isto poderia corroborar, finalmente, a presença de uma ação antagonica catiônica, presumivelmente do Ca. A faixa foi de 1,12 a 1,24% de K.

É interessante notar que a faixa dos teores foliares de Mg, no solo LVA, caem exatamente dentro daquela considerada, como de carência (0,04 a 0,15%) para esse elemento, por *GALLO et alii* (1968). Para o Ca, aqueles autores estabeleceram a faixa de 0,23 - 0,30% como sendo a de carência, o que é superado pelos teores foliares das plantas, tanto do LR como do LVA. Quando ao teor foliar de Mg no LR, embora no nível zero de calagem esteja dentro da faixa de carência (0,13%) e tenha crescido linearmente com a calagem até 0,19%, esse crescimento não se traduziu em crescimento de produção, como discutido anteriormente.

6. CONCLUSÕES

Os resultados apresentados e discutidos no presente trabalho permitem concluir que:

- A característica química dos solos estudados mais relacionadas com as respostas à calagem e à adubação potássica, em termos de produção de colmo, foram as relações entre os teores trocáveis de K/Mg, K/Ca e K/(Ca + Mg); individualmente, o K trocável se correlacionou melhor com a produção; os teores trocáveis de Mg deram melhores ajustes com a produção do que os teores trocáveis de Ca. Por outro lado, os incrementos em produção, pela ação da calagem, inexistem quando os solos apresentam teores trocáveis de Ca e Mg superiores a 0,28 e 0,25 e.mg/100 g de solo respectivamente. Já a adubação potássica produz elevados "ganhos" de produção quando os teores de K trocável dos solos se situam abaixo de 0,25 e.mg/100 g de solo.

- Tendo-se correlacionado positivamente com os teores foliares de Mg e com a relação cátions/ânions e negativamente com as relações foliares Ca/Mg e K/Mg, os incrementos de produção produzidas pela calagem (so

lo LVA) devem ser atribuídos mais a uma ação nutricional do Mg do que mesmo a uma ação do Ca. Por seu turno, tendo a calagem se manifestado negativamente sobre a produção de colmo (solo LR), essa ação deve-se mais ao rompimento do equilíbrio nutricional na planta, o qual deve ser atribuído aos elevados teores foliares de Ca.

- Os aumentos de produção devido à adubação potássica (solo LVA) podem ser explicadas, em função das correlações entre produção e teores foliares, pelos incrementos nas disponibilidades de K e P no solo ao mesmo tempo que retrata um perfeito equilíbrio nutricional. Os decréscimos de produção ocorridas nos três últimos níveis da adubação potássica (solo LR) são explicados, também a partir das correlações entre produção e teores foliares, pelo desequilíbrio nutricional acarretado principalmente pelos elevados teores foliares de Ca.

- No solo onde, em termos de produção, as manifestações de calagem e da adubação potássica foram positivas (solo LVA), as características de equilíbrio nutricional se revelam pela oposição de sinal apresentadas pelos coeficientes de correlação, estabelecidas entre os teores de um nutriente na folha e a produção. Se em função da calagem o sinal da correlação é positivo, pela ação da adubação potássica será negativa e vice-versa. Quando os decréscimos de produção, em função dos tratamentos aplicados, são explicadas em razões de desequilíbrios catiônicos, fica caracterizada a ausência de oposição dos sinais dos coeficientes de correlação. Isto é, se ja em função da calagem seja devido à adubação potássica, as correlações entre teores foliares e produção apresentam o mesmo sinal.

7. SUMMARY

With the objective of evaluating the effects of the interrelationship K/Ca/Mg on sugar cane, using data obtained from analyses of leaves and production of stalks, a greenhouse experiment was carried out with var. Na 56-79, cultivated in two soils of the State of São Paulo - Red Yellow Latosol, sandy phase (RYL), and Roxo Latosol (RL).

The plants were grown for 6 months in pots containing 20 kg soil. Each soil was treated with 5 levels of liming and 5 levels of K in a factorial scheme 5^2 with 3 replications. Liming of soil RYL corresponded to 0, 1, 2, 3 and 4 times the exchangeable amount of (Ca + Mg) while for RL soil it was equivalent to 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 times that amount. Correction was made with Ca and Mg carbonates (A.R. grade). K was applied as KCl (commercial fertilizer) at 0, 25, 50, 75 and 100 ppm levels of the element for both soils.

Liming and potassium fertilization of RYL had a significant and positive result on the production of stalks. In the RL soil, although

the treatment had no statistical significance on production, statistically consistent regression equations showed a depressive effect of liming and a negative action of K from the 50 ppm level upwards of the element in the soil.

A joint evaluation was made of data obtained for production and exchangeable levels of Ca, Mg and K from both soils, using the "discontinued straight" method, and results indicated that increase in production of Ca and Mg ceased when these elements presented exchangeable amounts of 0.28 and 0.25 meq/100 g of soil, respectively.

As for K, the technique indicated a noticeable decrease in production increment when the exchangeable level of this nutrient increased beyond 0.25 meq/100 g of soil.

The association of levels or the relationship among nutrients in the leaves and production, made it possible to observe that in RYL soil, Mg and K were limiting factors and that P had its availability increased due to potassium fertilization. In the RL soil it was noted that the decrease in production was due to a nutritional imbalance caused mainly by Ca.

8. LITERATURA CITADA

- ABRUÑA, F.R.; J. JUAREZ; R.P. ESCOLAR e J.V. CHANDLER, 1968.* Effect of soil acidity and liming on yields and composition of sugarcane growing on an ultisol. *J. of Agric. of Univ. of Puerto Rico* 52:85-100.
- ANDA (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS), 1975.* Manual de Adubação. Coordenadores: E. MALAVOLTA e J. PERES ROMERO. 2a. Edição. São Paulo. 346 p.
- ANDRADE, S.S., 1971.* Gênese e classificação de solos de três catenas nos Municípios de Piracicaba e Rio Claro. Piracicaba, ESALQ/USP, 74 p. (Dissertação de Mestrado).
- ARNOLD, P.W., 1960.* Potassium supplying power of some British soils. *Nature* 187:436-437.
- AYRES, A.S., 1943.* Soils of high-rainfall areas in the Hawaiian Islands. Hawaii Agriculture Experiment Station, Bulletin nº 1, 41 p.

- AYRES, A.S., 1961. Liming hawaiian sugarcane soils. Hawaiian Planters Record LVI:227-244.*
- AYRES, A.S., 1962. The utility of soil analysis in determining the need for applying calcium to sugarcane. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Tec. 11: :162-169.*
- AYRES, A.S.; H.H. HAGIHARA e F. STANFORD, 1965. Significance of extractable aluminum in Hawaiian sugarcane soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29:387-392.*
- BITTENCOURT, V.C. e M. SAKAI, 1975. Lixiviação do K nativo de solos tropicais. Boletim Científico 027 - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, SP.*
- BITTENCOURT, V.C.; C.A. VASCONCELLOS; D.A. CORDEIRO; J.L. BRAUNER e J. G. BAUMGARTNER, 1968. Equilíbrio de troca Ca/K e Ca/Mg na fração argila da Terra Roxa Estruturada. Rev. bras. Ci. Solo (aceito para publicação).*
- BONNET, J.A.; M.A. LUGO-LOPEZ; J. ROLDAN e R. PEREZ ESCOLAR, 1958. Effect of lime and phosphate-bearing materials on sugarcane yields. J. of Agric. of Univ. of Puerto Rico 42: 1-6.*
- BORNEMISZA, E., 1965. Conceptos modernos de acidez del suelo. Turrialba, 15:20-24.*
- CAMARGO, T. e R. BOLLIGER, 1933. Influência do pH do solo sobre a porcentagem de assucar na canna. "O Campo". Reimpresso no Boletim Technico nº 8 do Instituto Agronômico de Campinas, 1937. 15 p.*

- CATANI, R.A. e J.R. GALLO, 1955. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo, mediante correlação entre o pH e a porcentagem de saturação de bases. Revista de Agricultura 30:49-60.
- CLEMENTS, H.F. e A. GHOTB, 1968. The numbering of leaves and internodes for sugarcane nutrition studies. Proc. Int. Sugar Cane Tec. 13: 569-584.
- COLEMAN, N.T.; J.L. RAGLAND e D. CRAIG, 1960. An unexpected reaction between Al-clay of Al-soil and CaCl_2 . Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 24:419-420.
- CORDEIRO, D.A.; V.C. BITTENCOURT e L.F. BATISTA, Calagem e adubação potássica induzindo sintomas de deficiência de boro em cana-de-açúcar. Resumo XXVIII Reunião Anual SBPC.
- CORDEIRO, D.A., 1978. Emprego de técnicas de marcação no estudo da inter-relação calagem-adubação potássica em solos cultivados com cana-de-açúcar. Piracicaba, ESALQ/USP, 102 p. (Tese de Doutorado - Inédita).
- COPERSUCAR, 1977. Recomendações de fertilizantes em cana-de-açúcar. Boletim Técnico. 4-77:7-13.
- DAVIDSON, L.G., 1965. The effects of lime on yields of sugarcane and sugar on acid soils in Louisiana. Proc. Int. Soc. of Sugarcane Tec. 12:181-187.
- ESPIRONELO, A. e H. OLIVEIRA, 1972. Orientação geral para a adubação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Boletim 201 do Instituto Agrônomo de Campinas, 16 p.

EVANS, H.; R.B. AUSTIN; R.A. YATES e L.A. FORTE, 1956. Some considerations affecting the interpretation of foliar diagnostic under Br. Guiana conditions. Proc. Int. Soc. of Sugarcane Tec. 9:157-171.

EVANS, H., 1959. Elements other than nitrogen, potassium and phosphorus in the mineral nutrition of sugarcane. Proc. Int. Soc. of Sugarcane Tec. 10:473-508.

FASSBANDER, H.W., 1972. Equilíbrios catiônicos y disponibilidad de potásio en suelos de América Central. Turrialba, 22:388-397.

FUZZATO, M.G. e C.A.M. FERRA, 1967. Correlação entre o efeito da adubação potássica no algodoeiro e análise química do solo. Bragantia 26:345-352.

GALLO, J.R.; R. HIROC e R. ALVAREZ, 1968. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo, pela análise foliar. Bragantia 27:365-381.

GARGANTINI, H.; F.A.S. COELHO; F. VERLENGIA e E. SOARES, 1970. Levantamento da fertilidade dos solos do Estado de São Paulo. Boletim do Instituto Agronômico de Campinas, 32 p.

GUIMARÃES, E.; I. DEGASPARI; M. GURGEL e O. ALONSO, 1975. Estudo da influência de 2 tipos de calcário sobre a acidez do solo e a produção de cana-de-açúcar. III Seminário COPERSUCAR da Agroindústria Açucareira. Águas de Lindóia, 8 p. (mimeografado).

HANSEN, E.M., 1972. Studies on the chemical composition of isolated soil solution and the cation absorption by plants. Plant and Soil 37:589-607.

- HARDY, F.*, 1960. Senile soils. 9th Annual Carib. Conf. School of Int. Amer. Studies. Gainesville, University, of Florida, p. 14-43.
- HUMBERT, R.P.*, 1955. Nutrient balance in sugarcane nutrition. The Hawaiian Planters' Record LV:47-54.
- HUMBERT, R.P. e A.S. AYRES*, 1957. The use of aqua ammonia in the Hawaiian sugar industry: II. Injection studies. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21: 312-316.
- HUMBERT, R.P.*, 1963. The Growing of Sugar Cane. Editado por Elsevier Pub. Co., Amsterdam-Londres-Nova York. 779 p.
- HUMBERT, R.P.*, 1968. The Growing of Sugar Cane. Edição Revisada. Editado por Elsevier Pub. Co., Amsterdam-Londres-Nova York. 779 p.
- HUSZ, G.S.*, 1972. Sugar Cane - Cultivation and Fertilization. In: Series of Monographs on Tropical and Subtropical Crops. Editado por Ruhr-Stickstoff A.G., Bochum. 116 p.
- JONES, M.J. e K. STOCKINGER*, 1976. Effects of fertilizers on exchangeable cation ratios and crop nutrition in northern Nigeria. Experimental Agriculture 12: 49-59,
- JORGENSEN, S.S.*, 1977. Metodologia utilizada para análises químicas de rotina. Divisão de Ciências Básicas - Centro de Energia Nuclear na Agricultura. 21 p. (mimeografado).
- KALCKMANN, R.E. e C.T.A. FRATINI*, 1967. Contribuição à interpretação das análises de potássio em solos do Rio Grande do Sul. Pesq. Agrop. Bras. 2: 236-267.

KAMPRATH, E.J., 1973. Acidez del suelo y encalado. In: Un Resumen de las Investigaciones Edafológicas en la America Latina Tropical. Editado por Pedro A. Sánchez, Soil Science Department - North Carolina State University. p. 137-150.

KANEHIRO, Y. e A.T. CHANG, 1956. Cation exchange properties of the Hawaiian Great Soils Groups. Hawaii Agriculture Experiment Station, Technical Bulletin 31, 27 p.

LAROCHE, F.A., 1966. A calagem em solos tropicais de clima úmido. *Fitotecnia Latinoamericana* 3:83-97.

MALAVOLTA, E.; H.P. HAAG; F.A.F. MELLO e M.O.C. BRASIL SOBÓ, 1974. Nutrição Mineral e Adubação de Plantas Cultivadas. Livraria Pioneira Editora, São Paulo, 752 p.

ORLANDO FILHO, J. e H.P. HAAG, 1976. Influência varietal e do solo no estado nutricional da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) pela análise foliar. Boletim Técnico n) 2. Coordenadoria Regional Sul do Planalsucar, Araras. 52 p.

ORLANDO FILHO, J.; E. ZAMBELLO Jr. e N.A. GLORIA, 1977. Influência sazonal nos resultados das análises químicas de solo. *Rev. bras. Ci. Solo* . 1:62-65.

PLUCKNETT, D.L. e G.D. SHERMAN, 1963. Extractable aluminum in some Hawaiian soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 27: 39-41.

- POPENOE, H., 1960. Some soil cations: relationships in area of shifting cultivation in Humid Tropics. Int. Cong. Soil Sci. Trans. 7(2):303-311.
- RIXON, A.J. e G.D. SHERMAN, 1962. Effects of heavy lime application to volcanic ash soils in the humid tropics. Soil Sci. 94:19-27.
- SAMUELS, G., 1962. The pH of Puerto Rico soils used for principal crops. J. of Agric. of Univ. of Puerto Rico 46: 107-120.
- SAMUELS, G. e E. GONZALEZ-VELEZ, 1962. The influence of ammonium sulfate fertilization on the pH of sugarcane seeds. J. of Agric. of Univ. of Puerto Rico 46:297-306.
- SARRUGE, R. e H.P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Departamento de Química. E.S.A. "Luiz de Queiroz", Piracicaba. 57 p.
- SEATZ, L.F. e H.D. PETERSON, 1964. Acid, alkaline, saline and sodic soils. In: Chemistry of the Soil. 2a. edição. Ed. Reinhold. Nova York, p. 292-319.
- SILVA, N.M., 1971. Importância da seleção de glebas para estudos de adubação do algodoeiro. Boletim nº 8 do projeto BNDE/ANDA/IAC. Instituto Agrônômico, Campinas, SP.
- SOARES, E., 1975. Influência da relação entre teores trocáveis de cálcio e magnésio do solo na absorção de potássio pelo centeio (*Secale cereale* L.). Piracicaba, ESALQ/USP, 175 p. (Dissertação de Mestrado).
- STEWART, M.J., 1969. Potassium and sugarcane. S.A. Sugar Journal 53: 3-11.

TABAYOYONG, F.T. e M. ROBENIOL, 1965. Yield response of sugar cane to fertilizers. Proc. Int. Soc. of Sugar Cane Tec. 12:177-185.

TINKER, P.B., 1964a. Studies on soil potassium: III. Cation activity ratios in acid Nigeria soils. J. Soil Sci. 15:24-34.

TINKER, P.B., 1964b. Studies on soil potassium: IV. Equilibrium cation activity ratios and responses to potassium fertilizer of Nigeria oil palms. J. Soil Sci. 15:35-41.

TISDALE, S.L. e W.L. NELSON, 1971. Soil Fertility and Fertilizers. 2a. Edição. Ed. Collier-Mac Millan Int. Ed., Nova York - Toronto, 694 p.

VAN RAIJ, B., 1974. Calibração do potássio trocável em solos para feijão, algodão e cana-de-açúcar. Ciência e Cultura 26: 575-579.

VENEMA, K.C.W., 1963. Some notes regarding mobile aluminum and iron in acid tropical soils. Potash Tropical Agr. 6:67-85.

WANG, S.C.; T.M. LAI e C.C. YANG, 1959. Liming as a means to increase sugar cane yield in Taiwan. Proc. Int. Cong. of Sugar Cane Tec. 10:556-565.

WAUGH, D.L.; R.B. CATE Jr.; L.A. NELSON e A. MANZANO, 1975. Nuevos conceptos en la interpretación biológica u econômica de la respuesta a los fertilizantes. In: Manejo de Suelos en La America Tropical. Ed. BORNEMISZA, E. e A. ALVARADO. San Jose (Costa Rica), p. 498-516.

WUTKE, A.C.P.; R. ALVAREZ; H. GARGANTINI e H.V. ARRUDA, 1960. Restauração de solo para a cultura da cana-de-açúcar. II. Período 1956-58. *Bragantia* 19: 675-687.

WUTKE, A.C.P. e R. ALVAREZ, 1968. Restauração de solo para a cultura da cana-de-açúcar. III. Período 1958-61 e considerações gerais. *Bragantia*, 27:201-217.

APĚNDICE

Tabela A-1. Médias de produção (3 repetições) e dos teores foliares (2 repetições) das canas cultivadas no solo LVA, em função dos tratamentos. K_iL_i referem-se aos níveis de potássio (K_i) e calagem (L_i) aplicados ao solo.

Tratamentos	Produção (g/vaso)	%P	%N	%K	%Ca	%Mg
K_0L_0	545	0,11	1,63	0,97	0,50	0,06
K_0L_1	647	0,11	1,80	0,95	0,55	0,10
K_0L_2	633	0,09	1,63	0,91	0,46	0,11
K_0L_3	590	0,09	1,69	0,79	0,50	0,15
K_0L_4	777	0,10	1,59	0,82	0,52	0,20
K_1L_0	703	0,14	1,68	1,20	0,50	0,06
K_1L_1	810	0,11	1,81	1,06	0,49	0,11
K_1L_2	760	0,11	1,59	1,11	0,48	0,12
K_1L_3	837	0,11	1,59	0,97	0,55	0,17
K_1L_4	913	0,12	1,64	1,15	0,50	0,14
K_2L_0	720	0,12	1,64	1,17	0,42	0,05
K_2L_1	778	0,11	1,56	1,14	0,44	0,09
K_2L_2	910	0,10	1,49	1,09	0,43	0,11
K_2L_3	797	0,12	1,54	1,17	0,50	0,14
K_2L_4	927	0,13	1,84	1,16	0,52	0,19
K_3L_0	830	0,12	1,63	1,17	0,41	0,06
K_3L_1	793	0,12	1,58	1,19	0,43	0,10
K_3L_2	840	0,12	1,82	1,27	0,48	0,12
K_3L_3	895	0,11	1,71	1,17	0,53	0,16
K_3L_4	840	0,12	1,70	1,18	0,46	0,19
K_4L_0	847	0,13	1,69	1,43	0,39	0,06
K_4L_1	867	0,13	1,56	1,30	0,41	0,10
K_4L_2	773	0,13	1,54	1,29	0,47	0,14
K_4L_3	880	0,11	1,55	1,24	0,46	0,15
K_4L_4	990	0,11	1,57	1,25	0,49	0,18

Tabela A-2. Médias de produção (3 repetições) e dos teores foliares (2 repetições) das canas cultivadas no solo LR, em função dos tratamentos. K_iL_j referem-se aos níveis de potássio (K_i) e calagem (L_j) aplicados ao solo.

Tratamentos	Produção (g/vaso)	%P	%N	%K	%Ca	%Mg
K_0L_0	837	0,17	1,96	1,17	0,49	0,13
K_0L_1	768	0,16	2,06	1,09	0,74	0,17
K_0L_2	748	0,17	2,06	1,10	0,71	0,22
K_0L_3	773	0,15	1,82	1,12	0,54	0,19
K_0L_4	807	0,26	1,84	1,11	0,53	0,19
K_1L_0	893	0,14	1,78	1,07	0,49	0,13
K_1L_1	852	0,15	2,02	1,20	0,53	0,18
K_1L_2	898	0,17	1,94	1,14	0,51	0,18
K_1L_3	830	0,15	1,98	1,09	0,50	0,20
K_1L_4	943	0,15	1,82	1,10	0,52	0,20
K_2L_0	965	0,18	1,88	1,26	0,50	0,12
K_2L_1	902	0,17	2,28	1,15	0,52	0,18
K_2L_2	850	0,17	1,96	1,15	0,50	0,16
K_2L_3	823	0,17	1,86	1,15	0,52	0,17
K_2L_4	833	0,16	1,92	0,99	0,53	0,22
K_3L_0	920	0,16	2,10	1,13	0,47	0,14
K_3L_1	807	0,16	1,98	1,17	0,46	0,12
K_3L_2	793	0,16	2,02	1,10	0,52	0,17
K_3L_3	873	0,17	2,40	1,11	0,55	0,22
K_3L_4	770	0,16	2,10	1,19	0,50	0,17
K_4L_0	907	0,18	2,06	1,22	0,52	0,13
K_4L_1	902	0,17	2,12	1,20	0,48	0,14
K_4L_2	790	0,15	1,92	1,14	0,52	0,18
K_4L_3	760	0,17	2,10	1,24	0,56	0,18
K_4L_4	727	0,17	1,84	1,42	0,49	0,17

Tabela A-3. Análise da variância dos dados de produção das canas cultivadas no soló LVA.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Potássio (K)	4	501.537,97	125.384,49	15,38**
K _{Linear}	1	376.501,50	376.501,50	46,18**
K _{quadrática}	1	82.605,83	82.605,83	10,13**
Desvio	2	42.430,64	21.215,32	2,60 ns
Calagem (L)	4	204.944,63	51.236,16	6,28**
L _{Linear}	1	174.762,63	174.762,63	21,44**
Desvio	3	30.181,00	10.060,65	1,23 ns
Interação K X L	16	145.015,38	9.063,46	1,11 ns

Tratamentos	24	851.497,98	35.479,08	4,35**
Resíduo	50	407.616,65	8.152,33	

Total	74	1.259.114,63		

C.V.=11,34%

D.M.S. (Tukey 5%) = 93,50

Tabela A-4. Análise da variância dos dados de produção das canas cultivadas no soló LR.

Fonte de Variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Potássio (K)	4	97.951,98	24.487,84	2,02 ns
K _{Linear}	1	140,17	140,17	0,01 ns
K _{quadrática}	1	71.502,98	71.502,98	6,32 *
Desvio	2	26.308,83	13.154,42	1,16 ns
Calagem (L)	4	91.638,03	22.909,51	2,02 ns
L _{Linear}	1	66.781,50	66.781,50	5,90 *
Desvio	3	24.856,53	8.816,13	0,78 ns
Interação K X L	16	115.874,68	7.242,21	0,64 ns

Tratamentos	24	305.464,69	12.727,70	1,12
Resíduo	50	565.700,00	11.314,00	

Total	74	871.164,69		

C.V. = 12,68%

D.M.S. (Tukey 5%) = 110,13