ALUMÍNIO NO CRESCIMENTO E NA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM DIFERENTES CULTIVARES DE CANA-DE- AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)

DEMETRIO FERREIRA DE AZEREDO

Orientador: Prof. Dr. JOSÉ RENATO SARRUGE

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto, 1982

À minha esposa Neila,
Aos meus pais

DEDICO

AGRADECIMENTOS

- Ao Professor Dr. José Renato Sarruge, pelo apoio, confiança e orientação dispensados na realização deste trabalho.
- Ao PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-Açúcar) pela oportunidade e ao Superintendente Geral engº agrº Luiz Carlos Corrêa Carvalho e à Coordenadoria Regional Leste através dos engºs agrºs James Pimentel Santos e Delfino José da Cruz Filho pelas facilidades proporcionadas.
- Aos engºs agrºs Dr. José Orlando Filho, Dr. Nadir Almeida da Glória, Dr. Humberto de Campos e Norberto Antonio Lavorenti, pelas sugestões.
- Às Seções de Melhoramento e de Solos e Adubação da Coordenadoria Regional Sul do PLANALSUCAR, pelo fornecimento das mudas e análises químicas de material vegetal.
- À Seção de Documentação Técnica do PLANALSUCAR em Piracicaba-SP, pelo auxílio prestado.
- Aos técnicos e funcionários da Superintendência Geral do PLANALSUCAR, em especial ao Sr. Antônio de Pádua Rodrigues, pelo apoio e estímulo dispensados.
- Aos Srs. José Zurita Fernandes e Luiz Gil e à Sra. Analice Paes Barreto Aquino Tavares pelas colaborações prestadas.
- Aos colegas da Seção de Solos e Adubação da Coordenadoria Regional Leste do PLANALSUCAR pelo apoio.

INDICE

	Pág.
RESUMO	
SUMMARY	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Efeitos do alumínio sobre o crescimento de plantas	3
2.1.1. Efeitos benéficos do alumínio	3
2.1.2. Efeitos prejudiciais do alumínio	4
2.2. Efeitos do alumínio na concentração de nutrientes em plantas	8
2.3. Métodos de avaliação da tolerância de plantas ao alumínio	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	14
3.1. Cultivares	14
3.2. Substrato de crescimento	14
3.3. Delineamento experimental e avaliação do grau de tolerância ao alumínio	17
3.4. Descrição do experimento	17

3.4.1. Unidades experimentais	18
3.4.2. Obtenção das mudas e desenvolvimento do experimento	18
3.5. Análise química das plantas	
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1. Avaliação da tolerância ao alumínio	22
4.2. Influência do alumínio sobre a concentração dos macronutrientes e do Al em diferentes partes da cana-de-açúcar	29
5. CONCLUSÕES	43
6. LITERATURA CITADA	45

LISTA DE TABELAS

TABELA		Pág.
1	Composição química das soluções nutritivas em ml das soluções estoques/litro de água	15
2	Concentrações de nutrientes em partes por milhão, nas soluções nutritivas utilizadas	16
3	Produção de matéria seca (g/planta) das partes das plantas em função dos vários tratamentos (média de 4 repetições) e d.m.s. (Tukey 5%) .	23
4	Resumo das análises de variância dos valores de peso da matéria seca de raízes, colmos e folhas das cultivares de cana-de-açúcar, desenvolvidas em solução nutritiva, com diferentes concentrações de alumínio	24
5	Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca de raízes, colmos e folhas de cana-de-açúcar, obtidas em função das concentrações de alumínio, valores de F e coeficientes determinação (r^2)	26
6	Concentrações estimadas de alumínio na solução nutritiva, necessário para produção de 80% dos pesos de matéria seca de diferentes partes de duas cultivares de cana-de-açúcar	27
7	Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em raízes de cana-de-açúcar, em função	

TABELA

Pág.

7	de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)	31
8	Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em colmos de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)	32
9	Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em folhas de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)	33
10	Resumo das análises de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em raízes de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio	34
11	Resumo das análises de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em colmos de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio	35
12	Resumo das análises de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em folhas de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio	36
13	Equações de regressão para teores de alumínio, em ppm, em diferentes cultivares e partes de cana-de-açúcar, em função dos tratamentos empregados, com os respectivos valores de F e coeficientes de determinação (r^2)	41

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Pág.
1	Detalhes da unidade experimental, com as dimensões expressas em mm	19
2	Representação esquemática da distribuição das unidades experimentais e detalhes do sistema de aeração e fixação das mudas	20

ALUMÍNIO NO CRECIMENTO E NA CONCENTRAÇÃO DE NUTRIENTES EM
DIFERENTES CULTIVARES DE CANA-DE-AÇÚCAR
(*Saccharum spp.*)

Candidato: Demetrio Ferreira de Azeredo

Orientador: Prof. Dr. José Renato Sarruge

RESUMO

Com o propósito de se avaliar a influência do alumínio na cana-de-açúcar, foi conduzido um experimento em casa de vegetação, onde 7 cultivares (NA56-79, CP51-22, IAC58-480, CB53-98, CB41-76, IAC51-205 e IAC52-150) foram testadas em presença de 5 níveis de Al^{3+} (0, 4, 8, 12 e 16 ppm) em solução nutritiva.

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, segundo o esquema de parcelas subdivididas com 4 repetições. As parcelas foram constituídas pelos níveis de Al e as subparcelas pelas cultivares.

As mudas foram obtidas através do plantio de gemas isoladas, em caixas com areia lavada. O transplante das mudas para recipientes contendo solução nutritiva (15 litros), ocorreu 22 dias depois do plantio e mantidas em solução sem alumínio por 26 dias. Após esse período processou-se a reno-

vação da solução nutritiva, adicionando-se alumínio nas concentrações previamente estabelecidas, repetindo-se essa operação por mais uma vez, antes do final do experimento.

Procedeu-se a colheita do experimento 35 dias após a adição do alumínio à solução nutritiva. Durante essa fase de desenvolvimento das plantas o pH da solução foi mantido na faixa de 3,8 a 4,2, com o emprego de HCl ou NaOH diluídos.

A avaliação dos efeitos do alumínio sobre a cana-de-açúcar foi realizada em função dos dados de produção de matéria seca e teores de macronutrientes e de alumínio nas raízes, colmos e folhas.

Independentemente dos níveis de alumínio observaram-se diferenças entre as cultivares na produção de matéria seca de raízes e folhas.

O alumínio afetou a produção de matéria seca das cultivares IAC58-480 e CB41-76.

Matéria seca de raízes foi o melhor parâmetro para avaliação do efeito do alumínio na cana-de-açúcar.

Concentrações estimadas de alumínio de 1,56 e 7,49ppm em solução nutritiva, mostraram-se suficientes para reduzir em 20% o peso de raízes das cultivares IAC58-480 e CB41-76, respectivamente, em relação ao tratamento sem Al.

Houve efeitos do alumínio nas concentrações de alguns elementos nas raízes (K, Ca, Mg, S e Al) nos colmos (N, Ca, Mg e Al) e nas folhas (Ca, Mg, S e Al) de diversas cultivares. Não foi possível relacionar esses efeitos com os dados de produção.

ALUMINUM ON THE GROWTH AND ON NUTRIENT CONCENTRATION OF
DIFERENT SUGARCANE CULTIVARS

(Saccharum spp.)

Candidate: Demetrio Ferreira de Azeredo
Adviser: Prof. Dr. José Renato Sarruge

SUMMARY

A greenhouse experiment was carried out with the objective of assessing the influence of aluminum on sugarcane, where 7 cultivars (NA56-79, CP51-22, IAC58-480, CB53-98, CB41-76, IAC51-205 and IAC52-150) were tested in the presence of 5 levels of Al^{3+} (0, 4, 8, 12 and 16 ppm) in nutritive solution.

An entirely randomized experimental design, consisting of split plots, with 4 replications was employed. The plots consisted of Al levels, and the sub-plots of cultivars.

The seedling were obtained through planting single buds in boxes containing washed sand. The seedlings were transplanted to pots containing 15 liters of nutritive solution 22 days after planting and maintained in a solution without aluminum for 26 days. After this period of time, the nutritive

solution was renewed by adding aluminum at previously established concentrations; before completion of the experiment, this operation was repeated once again.

The experiment was harvested 35 days after the addition of aluminum to the nutritive solution. During this phase of plant development, the pH of the solution was maintained at values between 3.8 and 4.2 by employing diluted HCl or NaOH.

Aluminum effects on sugarcane was assessed in function of data on dry matter produced and contents of macronutrients and aluminum in the roots, stalks and leaves.

In addition to aluminum levels, differences between cultivars in producing root and leaf dry matter (dry matter from roots and leaves) were recorded.

Aluminum affected dry matter yields in cultivars IAC58-480 and CB41-76.

Root dry matter production proved to be the best parameter for evaluating the effect of Al on sugarcane.

Estimated Al concentrations of 1.56 and 7.49 ppm in nutritive solution were sufficient to depress root weight by 20% in cultivars IAC58-480 and CB41-76, respectively, as compared to the treatment without Al.

There were effects, of Aluminum on the concentration of some elements in the roots (K, Ca, Mg, S, and Al), in the stalks (N, Ca, Mg, and Al), and in the leaves (Ca, Mg, S, and Al) of several cultivars. It was not possible to relate these effects to production data.

1. INTRODUÇÃO

Com a implantação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), em 1975, a necessidade de cana-de-açúcar para produção de etanol, nos limites estabelecidos pelo governo, passou a ser cada vez maior.

A curto prazo, o incremento da produção brasileira de cana-de-açúcar para suprir a demanda, deverá ocorrer principalmente em função do aumento da área cultivada.

A expansão da lavoura canavieira no Brasil está sendo realizada basicamente em solos de menor fertilidade, ocupados anteriormente por pastagens ou vegetação nativa, constituída de cerrados (região centro-sul) e tabuleiros (região norte-nordeste).

Segundo CAMARGO (1976), uma fração representativa desses solos apresenta os horizontes subsuperficiais com valores de alumínio, expressos em relação à capacidade de troca de cátions efetiva, superiores a 50%.

Considerando-se que os efeitos benéficos da calagem se restringem a uma profundidade em torno de 20 cm, pode-se admitir como opção alternativa para cultivo em áreas que apresentam problemas de Al tóxico, à profundidade abaixo da camada arável, o uso de cultivares de cana-de-açúcar adaptadas a essas condições.

O emprego de cultivares tolerantes ao alumínio

pode se constituir em importante auxílio para diminuição dos custos de produção de cana nas regiões onde a calagem é necessária, e o calcário é caro por ser pouco abundante ou por não haver uma infraestrutura adequada que assegure o seu transporte e distribuição a baixo custo.

Outro aspecto interessante a considerar é o de que a avaliação da tolerância da cana-de-açúcar ao alumínio possa auxiliar na compreensão de resultados da calagem para a cultura da cana-de-açúcar que, segundo CORDEIRO (1978), são os mais controvertidos nas diversas regiões canavieiras do mundo.

No presente trabalho foram estudadas 7 (sete) cultivares de cana-de-açúcar, em solução nutritiva, com diferentes níveis de alumínio, objetivando:

- a) identificar o comportamento das cultivares de cana-de-açúcar a diferentes concentrações de alumínio, através das produções de matéria seca de raízes, colmos e folhas;
- b) observar os efeitos do alumínio sobre as concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e alumínio em raízes, colmos e folhas das cultivares de cana-de-açúcar utilizadas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Os efeitos do alumínio em diferentes espécies vegetais têm sido estudados por diversos pesquisadores.

Para melhor compreensão, a revisão de literatura concernente ao assunto será dividida em três tópicos distintos: a) efeitos do alumínio sobre o crescimento de plantas; b) efeitos do alumínio na concentração de nutrientes em plantas; c) métodos de avaliação da tolerância de plantas ao alumínio.

2.1. Efeitos do alumínio sobre o crescimento de plantas

2.1.1. Efeitos benéficos do alumínio

Embora o alumínio seja relacionado como um elemento não essencial, várias considerações sobre seus efeitos benéficos em plantas, quando usado em baixas concentrações, têm sido feitas.

Stoklasa, citado por FOY (1974), constatou benefício de pequenas quantidades de Al e acreditou ser ele um agente catalítico na fotossíntese, revelando, entretanto, que concentrações mais altas coagulavam proteínas em plantas e

causavam uma perda de cálcio e potássio nas células injuriadas. McLEAN e GILBERT (1928), verificaram que o alumínio em concentrações de 3 a 13 ppm estimularam o crescimento de plantas, sendo tóxico quando em concentrações mais elevadas.

Segundo MACLEOD e JACKSON (1965), plantinhas de trevo vermelho (*Trifolium pratense*) e de alfafa tiveram seus crescimentos estimulados pela presença de alumínio, em soluções de nutrientes, em concentrações de 0,1 e 0,2 ppm.

DIOS e BROYER (1962), constataram que o alumínio concorreu para a absorção de magnésio pelo milho. Paterson, citado por FOY (1974), também comprovou efeitos benéficos do alumínio sobre o desenvolvimento de plantas jovens de milho, quando as concentrações situavam-se entre 0,25-0,50ppm em solução de Hoagland contendo 5 ppm de fósforo a pH 4,1.

BERTLAND e DE WOLF (1968), concluíram que o milho, quando cultivado em solução nutritiva, requer alumínio em concentrações entre 0,25 e 0,30 ppm.

HACKETT (1962), verificou que 5 ppm de alumínio favoreceram o crescimento de raízes de *Deschampsia flexuosa*, *Alopecurus pratensis*, *Festuca pratensis* e *Lolium perenne*.

Os mecanismos pelos quais pequenas quantidades de alumínio beneficiam o crescimento de plantas, ainda não são claros (FOY, 1974).

2.1.2. Efeitos prejudiciais do alumínio

A toxidez do alumínio é comumente considerada como o principal efeito pernicioso da acidez dos solos, admitindo-se que 1 ppm de alumínio solúvel seja tóxico para a maioria das culturas. As funções bioquímicas das raízes são as mais afetadas, sendo o seu desenvolvimento limitado drasticamente. Supõe-se que esse efeito se deva à inibição da divisão celular, por ligação de Al com ácidos nucleicos (WUTKE, 1972; AYRES *et alii*, 1965; BEAR, 1964; PEARSON e ADAMS, 1967). Tam-

bém Ragland e Coleman; Coleman *et alii* e Sanchez, citados por HOWELER e CADAVID (1976), indicaram que as plantas frequentemente sofrem de toxidez de alumínio se as concentrações de Al na solução do solo estiverem acima de 1 a 2 ppm.

Segundo FOY (1976), a toxidez de alumínio em algumas plantas assemelha-se a sintomas de deficiência de P (atrofiamento geral: pequenos escurecimentos anormais das folhas verdes; purpureamento de caules, folhas e nervuras; amarellecimento e morte de folhas das pontas) ou com sintomas de deficiência de Ca (enrolamento de folhas novas e colapso do ápice da planta).

As raízes injuriadas por alumínio são caracteristicamente de aparência "atarracada", tornando-se as raízes laterais e as da ponta, grossas e de cor marron que são ineficientes na absorção de nutrientes (FOY, 1976).

Segundo OTA (1968), o "bruzone" em arroz é essencialmente causado pelo excesso de alumínio. Também em arroz, toxidez de alumínio tem sido associada com interferência na síntese de amido e proteínas, redução e translocação de açúcares, aumento na atividade da peroxidase e diminuição da atividade da citocromo redutase nas folhas (OTA, 1968).

OLMOS e CAMARGO (1976), indicaram o alumínio encontrado nos horizontes subsuperficiais como responsável pelas anomalias e danos causados ao sistema radicular, o que impede a exploração de um maior volume de solo pelas plantas, ocasionando com isso deficiências na absorção de nutrientes e no aproveitamento da água do solo, fato registrado para diversas culturas.

HAYNES (1970), estudando os tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil, sugeriu que a pouca penetração das raízes das culturas nesses solos pode ter a participação do efeito químico do Al^{3+} .

ARAÚJO *et alii* (1980), trabalhando com solo extremamente ácido (pH 4,2 e 6,7 em g de Al^{3+} /100 ml de solo) em casa de vegetação, observaram que a soja (*Glycine sp*) somente

se desenvolveu bem quando atingidos valores de 5,7 para pH e 0,3 emg/100 ml de solo para Al^{3+} .

Resultados obtidos por KAMPRATH (1970) revelam que o crescimento de milho foi máximo quando a saturação de Al, em relação a CTC efetiva, foi menor do que 44% e que para algodão e soja o crescimento ótimo registrou-se quando a saturação de Al era de 10% ou menos. Tolerância decrescente em relação ao alumínio foi observada entre milho, algodão e cevada (FOY e BROWN, 1964). Soja e algodão mostraram-se consideravelmente menos tolerantes ao alumínio do que o milho, quando cultivadas em solução nutritiva (RIOS e PEARSON, 1964).

Dentro de uma mesma espécie de planta também se verifica tolerância diferenciada ao Al, como demonstram os trabalhos de BRAUNER (1979), NOGUEIRA (1979) e HOWELER e CADAVID (1976), para trigo, sorgo grãofero e arroz, respectivamente.

Em relação à cultura da cana-de-açúcar, muitos trabalhos sobre efeitos da calagem têm sido desenvolvidos. Entretanto, a maioria deles não separa os efeitos corretivos e nutricionais que o emprego do calcário proporciona, dificultando assim a identificação do comportamento da cana-de-açúcar ao alumínio presente no solo.

Em Pernambuco, SANTOS *et alii* (1980), em experimento em casa de vegetação, registraram resposta positiva da cana-de-açúcar à aplicação de calcário em solo que apresentava 0,1 emg de Ca^{2+} e 2,4 emg de Al^{3+} /100 ml de solo. Nesse caso, pode-se admitir que a resposta obtida seja devida, principalmente, ao fornecimento de cálcio pelo material utilizado.

No Havaí, AYRES *et alii* (1965), concluíram que os níveis de Al^{3+} , extraídos com KCl N, não foram suficientemente altos para influenciar o desenvolvimento da cana. Os teores variavam de 0 a 6 emg/100 g de solo. Ainda para a mesma região, ORLANDO Fº e ZAMBELLO JR. (1980) observaram que nas correções do solo não se considera o alumínio, acreditando que o mesmo só é interessante se for considerado o alumínio "solú

vel" e não o "trocável".

De acordo com AYRES *et alii* (1965), na Guiana Britânica, saturação em Al^{3+} de até 60% da CTC do solo não resultou em impedimento à produção normal da cana-de-açúcar.

No Estado do Rio de Janeiro, AZEREDO *et alii* (1981), verificaram que em solos com 1,6 emg de Ca+Mg/ 100ml de solo, a neutralização do alumínio, presente na concentração de 0,8 emg/100ml de solo, através de calcário calcítico, não provocava acréscimo na produção de cana e/ou açúcar, da cultivar CB45-3.

Em alguns solos da baixada canavieira de Campos-RJ, que apresentam teores de Al^{3+} acima de 5,0 emg/ 100ml mas com % saturação de alumínio (Al/CTC) abaixo de 50%, a prática da calagem não tem proporcionado elevação do rendimento agrícola das lavouras de cana.

Outros resultados experimentais obtidos no Estado de São Paulo (GUIMARÃES *et alii*, 1975; COPERSUCAR, 1977), levam a inferir que a aplicação de calcário para a cultura da cana-de-açúcar deve ser enfocada com mais ênfase sobre o aspecto de fornecimento de Ca e/ou Mg à planta.

Dentro desse enfoque, MARINHO *et alii* (1980), verificaram que as produções de matéria verde e seca da cultivar RB70194, em casa de vegetação e colhida aos 5 meses, não foram afetadas pela acidez (pH até 4,1) e pelo Al^{3+} (até 6,7 emg/100ml de solo), quando se fez adequado suprimento de Ca^{2+} e Mg (em torno de 10,5 e 4,0 emg/100ml de solo, respectivamente). Logo, é de se supor que a cana-de-açúcar, quando bem suprida em Ca e Mg, suporte a presença de alumínio no solo em níveis elevados.

De qualquer forma as determinações do alumínio do solo para uma interpretação conjunta, principalmente com os valores de Ca e Mg, visando a avaliação da necessidade de calagem para cana-de-açúcar, são sempre interessantes. Na África do Sul, segundo ORLANDO Fº e ZAMBELLO JR. (1980), a calagem é preconizada, entre outros critérios, quando são cons-

tatadas concentrações de alumínio a partir de 54, 81 e 127 ppm para solos com teores de argila menor que 15%, entre 15 e 35% e acima de 35%, respectivamente.

Recentemente, MARINHO *et alii* (1981), estabeleceram quatro classes de Al^{3+} , em emg/100ml de solo, para cana-de-açúcar no Estado de Alagoas: a) extremamente nocivo ($> 2,75$); b) muito nocivo (1,1 a 2,75); c) nocivo (0,4 a 1,0) d) pouco nocivo ($\leq 0,3$).

De acordo com EVANS (1959), quantidades tóxicas de alumínio impedem o desenvolvimento das raízes da cana, cuja parte aérea apresentaria sintomas de severa deficiência de fósforo.

MARTIN e EVANS (1964), observaram que em solução nutritiva o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar apresentava-se normal em presença de 10 ppm de Al^{3+} , mas que o mesmo era muito afetado com concentrações de Al^{3+} entre 50 e 500 ppm.

2.2. Efeitos do alumínio na concentração de nutrientes em plantas

A influência do alumínio na concentração de muitos elementos essenciais nos tecidos das plantas tem sido estudada por pesquisadores, conforme compravam revisões sobre o assunto efetuadas por JACKSON (1967), KAMPRATH e FOY (1971) e FOY (1974).

FOY e BROWN (1963), verificaram que a exposição de plantas jovens de algodão ao Al por 16 dias resultou em uma maior restrição de acumulação de Ca nos brotos do que nos tecidos da raiz.

HARWARD *et alii* (1955), indicaram que o Al reduziu as concentrações de Mg e K nas folhas maduras de alface (*Lactuca sativa*) e a concentração de Ca em todas as folhas.

Em trigo (*Triticum aestivum*), JOHNSON e JACKSON

(1964), verificaram que a absorção e acumulação de Ca eram reduzidas pelo Al.

WAARD e SUTTON (1960), associaram toxidez de alumínio em pimenta preta (*Piper nigrum* L) com a reduzida absorção de Ca e Mg, sintomas de deficiências das plantas nesses elementos, morte de raízes, definhamento de folhagem e aumento de K e Al absorvidos. Surgiram os autores que a relação de K: Ca mais Mg na parte aérea da planta fosse usada como um índice de injúria por alumínio. Pimenta trepadeira foi pouco afetada sob uma relação de 1,29 e severamente afetada sob uma relação de 3,89.

Segundo Ota e Yamada, citados por OTA (1968), plantas de arroz injuriadas por alumínio apresentaram teores de Mn, K, Mg, Ca, Si e Fe mais baixos do que as plantas não injuriadas, tendo sido verificado o oposto em relação aos teores de N e P.

De acordo com FOY e BROWN (1963 e 1964) e CHIASSON (1964), toxidez de Al aparece frequentemente com uma deficiência de P em plantas crescidas em solo ácido ou em solução nutritiva. Excesso de Al pode reduzir a solubilidade de P no meio de crescimento e limitar sua absorção e utilização pelas plantas.

MACLEOD e JACKSON (1965) revelaram que o P parece ser imobilizado por Al em raízes de alfafa. No entanto, RUSCHEL *et alii* (1968), sugeriram que os efeitos prejudiciais de Al sobre *Phaseolus vulgaris* não eram devidos a uma deficiência de P induzida por Al.

JONES (1961), verificou que o trevo branco S-100, classificado por ele como tolerante a Al, acumulava considerável quantidade de Al nas folhas, mas indicava pequena evidência de deficiência de P.

BRAUNER (1979), trabalhando com diferentes cultivares de trigo, concluiu que: a) o grau de tolerância ao alumínio das cultivares, não está relacionado com as concentrações de P, Ca e Mg das partes aéreas; b) as concentrações de

P, Ca e Mg das partes aéreas das cultivares se comportaram diferentemente em função das concentrações de Al na solução; c) o alumínio estimula a absorção do fósforo.

2.3. Métodos de avaliação da tolerância de plantas ao alumínio

Experimentos de campo ou de casa de vegetação têm sido utilizados para determinação da tolerância de espêcies ou cultivares de plantas ao alumínio. Em casa de vegetação os substratos de crescimentos mais comumente empregados são solução nutritiva e solo, sendo a sílica o substrato mais raramente empregado.

Estudos sobre a tolerância de plantas ao alumínio, em condições de campo, foram realizados por diversos pesquisadores (Souza e Gomes, citados por BRAUNER, 1979; MARTINI *et alii*, 1977; HOWELER e CADAVID, 1976).

Segundo HOWELER e CADAVID (1976), as seleções de cultivares de arroz à tolerância ao alumínio, em condições de campo, são dispendiosas e requerem de 4 a 5 meses, e os resultados são frequentemente afetados por variabilidade de solo, diferentes graus de resistência das cultivares e doenças, insetos e danos por pássaros. Considerações análogas são válidas para cultivares de cana-de-açúcar, principalmente em relação ao período para obtenção de resultados, face ao ciclo da cultura.

Resultados experimentais inerentes ao comportamento de plantas ao alumínio, obtidos em casa de vegetação com diferentes substratos de crescimentos, têm sido amplamente divulgados (ESSEN e DANTUNA, 1962; FOY *et alii*, 1965a e 1973; REID *et alii*, 1971; KERRIDGE *et alii*, 1971; BRAUNER, 1979; RUSCHEL *et alii*, 1968).

Quando se utiliza solo como substrato de crescimento, torna-se necessária a escolha de solo com característi

cas químicas bem definidas e conhecimento prévio de respostas de espécies ou cultivares ao fator em estudo.

Segundo KERRIDGE *et alii* (1971), a desvantagem de se usar solo como substrato de crescimento para discriminação de tolerância ao Al, é que o grau de seleção não pode ser quantitativamente controlado e considerável número de experimentos precisa ser conduzido para comprovar que o Al seja o único fator de toxidez. Além do exposto pode-se acrescentar as dificuldades operacionais para obtenção de raízes, visando sua utilização como parâmetro de avaliação dos tratamentos, principalmente em função do comprimento das mesmas.

Em relação ao emprego de soluções nutritivas como substrato de crescimento de plantas, para estudos de tolerância ao alumínio, pode-se evidenciar as facilidades de controle e obtenção das raízes que o sistema oferece. Entretanto, alguns cuidados devem ser observados, tais como, controle de pH e concentração de fósforo no meio para garantir o alumínio solúvel nos níveis desejados.

REID *et alii* (1971), revelam que no uso de solução nutritiva para testes de seleção ao alumínio, os níveis de Al e P e o pH são de particular importância. Alumínio suficiente precisa ser adicionado para prover um nível tóxico de Al solúvel ao pH e níveis de P usados, mas não suficiente para injuriar severamente as cultivares mais tolerantes. Adição de excesso de P precipitará Al e eliminará a toxidez do meio. Permitindo o aumento de pH da solução até 5 ou mais, a solubilidade do Al também sofrerá declínio, e dentro de poucos dias reduzirá ou eliminará diferenças de crescimento entre variedades sensíveis e tolerantes (REID *et alii*, 1971).

Segundo RORISON (1958), as reações de alumínio em solução são particularmente importantes. Em valores muito baixos de pH, o alumínio está presente quase inteiramente como ion trivalente. Com a elevação do pH o ion se precipita gradualmente como hidróxido, mas aparece novamente na solução como aluminato em condição muito alcalina. Assim sendo, afirma

RORISON (1958), o controle do pH deve ser rigoroso, porque em valores de pH superiores a 4,5-5,0 provavelmente não existirá concentração suficiente de Al na solução para causar toxicidade.

De acordo com KERRIDGE *et alii* (1971), a debilidade de muitos estudos sobre toxicidade de Al em cultura, em solução nutritiva, se deve ao inadequado controle de pH, P e mais a concentração de Al. Rígido controle do meio é necessário para precisão em estudos genéticos e para reprodutibilidade de resultados com o tempo.

MUNNS (1965), estudou a interação $pH \times Al \times P$, através de determinações das concentrações de P e Al por vários dias, em soluções contendo diferentes concentrações de P (0,31; 0,62; 2,48 e 9,92 ppm) e pH (4,0 e 4,5). Após três semanas, ele verificou que as soluções que continham fósforos nas concentrações de 2,48; 0,62 e 0,31 ppm e pH 4,0, apresentavam o fósforo e o alumínio integralmente em formas solúveis, enquanto que em pH 4,5 apenas a solução contendo 0,31 ppm de P não acusou precipitação do alumínio e do fósforo. KERRIDGE *et alii* (1971), indicou que os níveis de alumínio na solução decrescem menos do que 10% durante um experimento e não foram detectadas hidrólise ou precipitação de Al em pH 4,0 e 10 μM de P, mesmo com a adição de 12,6 ppm (480 μM) de Al na solução nutritiva.

Segundo REID *et alii* (1971), em cevada, 4,0 ppm de Al, 3 ppm de P e pH 4,8 dão adequadas separações entre as cultivares e em soja, 8,0 ppm de Al, 4,0 ppm de P e pH 4,6 são condições satisfatórias para seleção ao Al.

REID *et alii* (1971), ao compararem métodos para determinações de tolerância ao alumínio, obtiveram um coeficiente de correlação ($r = 0,75$) significativo a nível de 1% entre peso de raízes de cevada em solução e em solo. O processo da solução provou ser muito satisfatório para determinação de resposta entre cultivar de cevada ao Al. Segundo REID *et alii* (1971), com algumas modificações, o método pode ser adaptado

a outras culturas e ser útil para testar a resposta de diferentes culturas a outros fatores químicos.

Diversos procedimentos e equipamentos para determinação do grau de tolerância das plantas ao alumínio, usando-se soluções nutritivas, têm sido adotados (KERRIDGE *et alii*, 1971; MUNN e McCOLLUM, 1976; MOORE, 1974; BRAUNER, 1979; SPARLING, 1967; SALINAS e SANCHEZ, 1976; REID *et alii*, 1971).

Quanto aos parâmetros utilizados para determinação dos efeitos do alumínio em plantas, têm-se: número de raízes, peso de matéria seca, peso de matéria fresca, comprimento e comprimento relativo (REID *et alii*, 1971; SALINAS e SANCHEZ, 1976; BRAUNER, 1979; FOY *et alii*, 1974; RUSCHEL *et alii*, 1968; FOY *et alii*, 1965).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Cultivares

Foram utilizadas 7 cultivares de cana-de-açúcar: NA56-79; CP51-22; IAC58-480; CB53-98; CB41-76; IAC51-205 e IAC52-150, escolhidas devido ao potencial de produção das mesmas e representatividade da maioria delas em termos de áreas cultivadas (IAA/PLANALSUCAR, 1980).

As cultivares foram fornecidas pela Coordenadoria Regional Sul do PLANALSUCAR - Araras-SP, sendo provenientes de talhões sob controle de raquitismo.

3.2. Substrato de crescimento

Instalou-se um experimento em casa de vegetação, do Departamento de Química da ESALQ, empregando-se solução nutritiva como substrato de crescimento.

Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as composições das soluções empregadas, sendo as mesmas adaptadas de HOAGLAND e ARNON (1950) para macro e micronutrientes, à exceção do ferro que foi fornecido como sugerido por JACOBSON (1951). As soluções nº 1 e nº 2 (tabelas 1 e 2) diferem

Tabela 1: Composição química das soluções nutritivas em ml das soluções estoques/litro de água.

Soluções Estoques	Solução nº 1	ml/l	Solução nº 2
NH_4NO_3 M	-		4,5
KNO_3 M	5		6
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ M	5		-
Ca Cl_2 M	-		5
Mg SO_4 M	2		2
$\text{K H}_2\text{PO}_4$ 0,1M	1		1
KCl M	1		-
*Micronutrientes	1		1
Fe-EDTA	1		1

* Composta pelos seguintes sais:

	g/l
H_3BO_3	2,86
$\text{Mn Cl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1,81
Zn Cl_2	0,10
Cu Cl_2	0,04
$\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0,02

Tabela 2: Concentrações de nutrientes em parte por milhão, nas soluções nutritivas utilizadas

Solução Nutritiva	Nutrientes											
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
Nº 1	210	3,1	234	200	48	64	0,5	0,02	5	0,5	0,01	0,05
Nº 2	210	3,1	239	200	48	64	0,5	0,02	5	0,5	0,01	0,05

entre si apenas no que diz respeito à fonte de alguns nutrientes.

O Al foi adicionado à solução nutritiva na forma de $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, de acordo com BRAUNER (1979).

3.3. Delineamento experimental e avaliação do grau de tolerância ao alumínio

Empregou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, segundo o esquema de parcelas subdivididas com 4 repetições. As parcelas ou tratamentos foram constituídas pelos níveis de Al (0, 4, 8, 12 e 16ppm) e as subparcelas ou subtratamentos pelas cultivares.

Os dados de produção de raízes, colmos e folhas, expressos em grama de matéria seca/planta (média de 4 plantas/cultivar dentro de cada tratamento) e os teores de macronutrientes (%) de Al (ppm) na matéria seca dos tecidos das plantas, foram submetidos a análises de variância, de acordo com PIMENTEL GOMES (1977). Para as cultivares e partes das mesmas, afetadas pelo alumínio, foram determinadas as equações de regressão até 3º grau, considerando-se a equação significativa de maior grau, como representativa.

Efetuuou-se a avaliação do grau de tolerância das cultivares do Al em função dos dados de produção. Inicialmente, com base nos desdobramentos das análises de variância, cuidou-se de separar as cultivares que não foram influenciadas pelo Al, das demais. Em seguida, através das equações de regressão, estimou-se para as cultivares afetadas as concentrações de alumínio necessárias para produzir 80% do peso de matéria seca de raízes, colmos e folhas, considerando-se como 100% os valores correspondentes ao tratamento sem Al. Os critérios de avaliação utilizados são os mesmos adotados por BRAUNER (1979).

3.4. Descrição do experimento

3.4.1. Unidades experimentais

Foram utilizadas unidades de plástico, com capacidade para 15 litros. Cada unidade foi subdividida com chapas de PVC, para desenvolvimento das 7 cultivares de cana-de-açúcar. Os detalhes inerentes às dimensões, sistema de aeração e manutenção das plantas são apresentadas nas Figuras 1 e 2.

A espuma empregada para fixação das plantas nos recipientes de polietileno (copos usados para café), foi tratada com solução de "Benlate" à base de 0,65 g/litro de água, para prevenção de fungos.

As unidades de plástico foram revestidas com lona plástica preta, visando evitar a penetração de luz e consequentemente controlar a proliferação de algas.

3.4.2. Obtenção das mudas e desenvolvimento do experimento

As mudas foram obtidas a partir de cana-planta com 10 meses de idade, através do plantio de gemas isoladas, extraídas segundo sistema descrito por SILVA (1975).

As gemas, após tratamento com "Vitavax" na proporção de 2,5 g/litro d'água, foram plantadas no dia 21/10/80, em caixas contendo areia lavada e mantidas em casa de vegetação por 22 dias, quando então se processou o transplante das mudas para as unidades contendo a solução nutritiva nº1, após seleção prévia das mesmas.

Após o transplante as cultivares foram mantidas na solução nutritiva nº 1, em ausência de alumínio, por 26 dias. O pH da solução nos 20 primeiros dias situou-se entre 6,0 e 7,0, sendo corrigido para 4,5 nos últimos 6 dias do primeiro estágio de desenvolvimento das plantas.

No dia 08/12/80, após renovação da solução nº1,

Figura 1: Detalhes da unidade experimental, com as dimensões expressas em mm.

Figura 2: Representação esquemática da distribuição das unidades experimentais e detalhes do sistema de aeração e fixação das mudas.

o Al foi adicionado nas concentrações e caixas previamente estabelecidas. A partir desta data até a colheita do experimento o pH foi determinado diariamente e mantido na faixa de 3,8 a 4,2 utilizando-se, para tal HCl ou NaOH diluídos.

A solução nutritiva foi novamente renovada no dia 22/12/80, empregando-se então a solução nº 2, mantendo-se a fonte de Al.

Efetuuou-se a colheita do experimento nos dias 13 e 14/01/81, 35 dias após a adição do alumínio. Nessa oportunidade as plantas foram divididas em raízes, folhas (lâmina foliar) e colmos + bainhas, considerados apenas como colmos.

As diferentes partes das plantas foram colocadas separadamente em estufa com circulação de ar a $\pm 70^{\circ}\text{C}$ e mantido até peso constante, quando então foi efetuada a pesagem.

3.5. Análise química das plantas

Amostras de raízes, colmos e folhas das 7 cultivares de cana-de-açúcar, foram preparadas e analisadas para N, P, K, Ca, Mg e Al, seguindo-se metodologia descrita por SARRUGE e HAAG (1974).

Nos extratos nítrico-perclórico, das diferentes partes das plantas, obtidos segundo SARRUGE e HAAG (1974), foram determinados os teores de S por colorimetria, em sistema de injeção em fluxo contínuo, conforme KRUG *et alii* (1977).

Os teores de macronutrientes e de alumínio são expressos em percentagem e ppm da matéria seca, respectivamente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação da tolerância ao alumínio

Os valores médios dos pesos da matéria seca das partes das plantas e o resumo da análise de variância destes dados, em função dos diversos tratamentos, acham-se expressos nas Tabelas 3 e 4.

Tomando-se o tratamento sem alumínio como referência (Tabela 3), nota-se que as cultivares utilizadas apresentaram produções diferenciadas, para peso de matéria seca de raízes e de folhas.

A cultivar IAC58-480 foi a que produziu a maior quantidade de matéria seca de raízes e a cultivar IAC52-150 a menor. A variação entre os valores observados foi de 40%.

Em relação à matéria seca de folhas, as cultivares IAC58-480 e IAC51-205 foram as que apresentaram a maior e menor produção respectivamente, revelando uma variação de 56%.

As diferenças observadas nas produções de raízes e folhas, entre as cultivares, podem ser atribuídas às particularidades inerentes às próprias cultivares empregadas.

Na Tabela 4, são observados os efeitos dos níveis de alumínio sobre a produção de matéria seca de folhas. Entretanto, com o desdobramento dos números de graus de liber

Tabela 4: Resumo das análises de variância dos valores de peso da matéria seca de raízes, colmos e folhas das cultivares de cana-de-açúcar, desenvolvidas em solução nutritiva, com diferentes concentrações de alumínio

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios		
		Raízes	Colmos	Folhas
Concentração de Al	4	0,984110	0,742392	1,042964*
Resíduo (a)	15	0,418905	0,296810	0,327190
Cultivares	6	5,528998**	8,095119**	10,354142**
Conc. x Cul.	24	0,500065	0,880684	0,969172
Resíduo (b)	90	0,361794	0,849254	0,923246
CV% (a)		27,50	28,00	24,00
CV% (b)		25,50	47,00	40,00

*= Quadrados médios referentes a valores de F significativo ao nível de 5% de probabilidade

**= Quadrados médios referentes a valores de F significativo ao nível de 1% de probabilidade

dade da interação (tratamento x cultivares) das análises de variância, foi possível constatar que apenas as cultivares IAC58-480 em raízes e folhas e CB41-76 em raízes e colmos tiveram suas produções influenciadas pelo alumínio.

A natureza das respostas apresentadas pelas cultivares (IAC58-480 e CB41-76) de cana-de-açúcar ao alumínio, são mostradas na Tabela 5, através das equações de regressão para pesos de matéria seca de raízes, colmos e folhas, acompanhadas dos valores de F e dos coeficientes de determinação (r^2).

Com base nos valores de F, expressos na Tabela 5, nota-se que dos parâmetros de desenvolvimento estudados, as raízes se constituíram na melhor parte da cana-de-açúcar para avaliação da tolerância ao alumínio.

A comparação do grau de sensibilidade ao alumínio entre as cultivares IAC58-480 e CB41-76, em função das concentrações de alumínio suficientes para reduzir em 20% as produções de raízes, colmos e folhas (Tabela 6), torna possível a constatação da menor tolerância ao alumínio da cultivar IAC58-480 em relação à cultivar CB41-76.

Comportamento diferenciado com referência ao alumínio, dentro de cultivares de outras espécies de plantas, também tem sido observado, como é o caso do trigo (BRAUNER, 1979), sorgo granífero (NOGUEIRA, 1979) e arroz (HOWELER e CA DAVID, 1976).

À exceção das cultivares IAC58-480 e CB41-76 as demais cultivares estudadas apresentaram desenvolvimento normal do sistema radicular, mesmo em presença de 16 ppm de Al^{3+} em solução nutritiva. Observações semelhantes são relatadas por MARTIN e EVANS (1964) que, sem mencionarem cultivares, informam que 10 ppm de Al^{3+} em solução nutritiva não afetava o crescimento do sistema radicular da cana-de-açúcar.

A tolerância relativa das cultivares NA56-79, CP51-22, CB53-98, IAC51-205 e IAC52-150 em relação ao alumínio, explica, dentro de limites, os resultados encontrados

Tabela 5: Equações de regressão dos valores de peso de matéria seca de raízes, colmos e folhas de cana-de-açúcar, obtidas em função das concentrações de alumínio, valores de F e coeficiente de determinação (r^2)

Cultivares	Partes das Plantas	Equações de Regressão	F	r^2
IAC58-480	Raízes	$y=3,4870-0,5900x+0,0981x^2-0,0042x^3$	11,20**	66,70
CB41-76	Raízes	$y=2,6000-0,06940x$	8,30**	66,00
IAC58-480	Colmos	$y=2,6839-0,5873x+0,1046x^2-0,0046x^3$	6,45*	74,00
CB41-76	Colmos	$y=2,1000-0,0831x$	5,70*	56,00
IAC58-480	Folhas	$y=3,6275-0,6807x+0,1141x^2-0,0050x^3$	6,80*	65,00
CB41-76	Folhas	$y=2,4700-0,0850x$	5,50*	56,00

* Valores de F significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Valores de F significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 6: Concentrações estimadas de alumínio na solução nutritiva, necessárias para produção de 80% dos pesos de matéria seca de diferentes partes de duas cultivares de cana-de-açúcar.

Cultivares	Partes das Plantas		
	Raízes	Colmos	Folhas
	Al ppm		
IAC58-480	1,56	1,13	1,36
CB41-76	7,49	5,05	5,81

por MARINHO *et alii* (1980) em experimento de casa de vegetação com a cultivar RB70194. Os autores constataram que as produções de matéria verde e seca da parte aérea daquela cultivar não eram afetadas pelo alumínio do solo (6,7 emg de Al^{3+} /100 ml de solo), quando se fornecia ao solo quantidades adequadas de Ca^{2+} e Mg^{2+} (10,5 e 4,0 emg/100 ml de solo, respectivamente).

A tolerância da cana-de-açúcar ao alumínio também é evidenciada pelos relatos de MARTIN e EVANS (1964) e AYRES *et alii* (1965). Estudos de calibração do Al^{3+} do solo para a cultura, desenvolvidos por MARINHO *et alii* (1981), comprovam que para uma produção relativa de 80% são necessários 2,0 emg de Al^{3+} /100 ml de solo, bem superior aos níveis admitidos como toleráveis para várias culturas, principalmente leguminosas, como revelado por ARAÚJO *et alii* (1980).

Os resultados obtidos no presente trabalho levam ao questionamento das indicações de calagem para cana-de-açúcar baseadas no alumínio trocável, empregadas na África do Sul (ORLANDO Fº e ZAMBELLO Jr., 1980) e preconizadas por ESPIRONELLO e OLIVEIRA (1972), para solos com Al^{3+} superior a 0,5 emg/100 ml de solo. Os resultados observados, sugerem ainda que os benefícios da aplicação de calcário sobre a produção de cana-de-açúcar (SANTOS *et alii*, 1980 e IAA/PLANALSUCAR, 1978) sejam basicamente em função do fornecimento de Ca e/ou Mg à cultura. Com base nessas considerações, acredita-se que na escolha de parâmetros para previsão das necessidades de calagem para a cana, os teores de Ca e de Mg do solo merecem especial atenção, como sugerem GUIMARÃES *et alii* (1980) e COPER SUCAR (1977).

O uso de solução nutritiva como substrato de crescimento, para determinação de tolerância das cultivares de cana-de-açúcar ao alumínio, mostrou-se bastante interessante, principalmente, levando-se em conta o tempo de realização do experimento (83 dias) em comparação com a duração de ensaios de campo com a cultura. Entretanto, os resultados ob-

tidos devem ser considerados qualitativamente, face as dificuldades em se estabelecer relações entre concentrações de Al^{3+} em solução nutritiva e teores trocáveis e solúveis do elemento no solo. Apesar disso, em função de observações práticas (SARRUGE*, informação pessoal) pode-se admitir que 2 ppm de Al^{3+} em solução nutritiva corresponda a teores entre 0,6 - 1 mg de Al^{3+} /100 g de solo.

No que concerne à solução do solo, sua concentração em alumínio é bastante afetada pela saturação do mesmo em relação a CTC efetiva. O Al solúvel é mais ou menos baixo (1 ppm) até que o Al trocável exceda 60% de saturação, aí então aumenta rapidamente (Nye *et alii*; Evans e Kamprath; citados por KAMPRATH e FOY, 1971).

Analisando as concentrações de Al na solução do solo, raramente superiores a 3 ppm (LANCE e PEARSON, 1969) e as dos Latossolos do Brasil, em torno 0,51 ppm (FASSBENDER, 1975) e ainda o comportamento das cultivares de cana-de-açúcar ao alumínio, pode-se inferir: a) o alumínio, através de seus efeitos diretos, parece não se constituir em fator limitante da produção da cana-de-açúcar; b) o emprego de calcário para a cultura deve ser considerado principalmente pelo fornecimento de Ca e/ou Mg para a cultura; c) na avaliação da necessidade de calagem para a cana-de-açúcar, o alumínio assume pequena importância quando os teores de cálcio e magnésio são elevados.

4.2. Influência do alumínio sobre a concentração dos macronutrientes e do Al em diferentes partes da cana-de-açúcar

As concentrações médias de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre e alumínio para as dife-

* (Dr. José Renato SARRUGE, Professor do Departamento de Química da ESALQ)

rentes partes das cultivares de cana-de-açúcar, desenvolvidas em presença de níveis crescentes de Al, e os resumos das análises de variância são apresentadas nas Tabelas 7, 8, 9, 10, 11 e 12.

Pelos resultados observados em ausência de alumínio, Tabelas 7, 8 e 9 nota-se que entre algumas cultivares estudadas há diferenças nos teores de N, K, Ca e Mg nas raízes, de N, P, K e S nos colmos e de Ca, Mg e S nas folhas. Influência de cultivares na composição de macronutrientes das folhas de cana-de-açúcar é relatada por ORLANDO Fº e HAAG (1976).

Segundo HUMBERT (1974), as cultivares podem diferir muito em sua composição química e as quantidades de nutrientes absorvidos de um solo, por diferentes cultivares, podem variar até 100%.

De um modo geral, as concentrações dos macronutrientes nas raízes e folhas da maioria das cultivares, em ausência de alumínio, são superiores às observadas na cultivar CB41-76 (HAAG, 1965), tratada em solução nutritiva completa.

Nas Tabelas 10, 11 e 12, verifica-se que apenas os teores de alumínio nas raízes e os de Ca nas folhas foram influenciados pelo alumínio. Entretanto, o desdobramento dos graus de liberdade de tratamentos, através do estudo de regressão, possibilitou a constatação de efeitos dos tratamentos sobre a concentração de outros elementos em raízes, folhas e colmos.

Nas considerações por elemento, são mostradas as cultivares e respectivas partes que tiveram suas composições químicas influenciadas pelo alumínio, assim como a natureza dos efeitos observados.

Nitrogênio: Esse nutriente teve seus teores afetados pelo alumínio nos colmos da cultivar IAC52-150 e folhas da cultivar CB41-76 como revela as equações de regressão, com os correspondentes valores de F e r^2 (coeficiente de determinação):

Tabela 7: Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em raízes de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)

Cultivares	Tratamentos (ppm Al)	%						ppm
		N	P	K	Ca	Mg	S	Al
NA56-79	0	1,30	0,05	1,20	0,35	0,31	0,38	333,00
	4	1,40	0,09	1,40	0,30	0,32	0,46	1177,00
	8	1,30	0,08	1,50	0,30	0,28	0,45	1276,00
	12	1,40	0,08	1,40	0,30	0,30	0,54	2065,00
	16	1,30	0,09	1,60	0,40	0,28	0,50	3145,00
CP51-22	0	1,00	0,03	1,00	0,25	0,20	0,36	284,00
	4	1,10	0,08	1,30	0,30	0,24	0,50	1043,00
	8	1,00	0,05	1,20	0,30	0,18	0,36	1034,00
	12	1,20	0,06	1,40	0,30	0,19	0,46	1870,00
	16	1,10	0,08	1,40	0,40	0,21	0,49	2657,00
IAC58-480	0	1,50	0,05	1,40	0,35	0,24	0,45	265,00
	4	1,40	0,08	1,30	0,40	0,24	0,51	1189,00
	8	1,30	0,06	1,40	0,30	0,23	0,33	1180,00
	12	1,40	0,08	1,60	0,40	0,20	0,53	2182,00
	16	1,60	0,09	1,55	0,40	0,23	0,45	2582,00
CB53-98	0	1,20	0,04	0,80	0,40	0,24	0,37	442,00
	4	1,15	0,07	0,80	0,40	0,23	0,43	1168,00
	8	1,00	0,05	0,80	0,40	0,22	0,29	1168,00
	12	1,40	0,06	0,95	0,40	0,21	0,36	1785,00
	16	1,00	0,07	0,80	0,35	0,21	0,32	2260,00
CB41-76	0	1,20	0,05	0,70	0,33	0,31	0,35	343,00
	4	1,20	0,07	0,75	0,30	0,27	0,41	1303,00
	8	1,10	0,05	0,90	0,30	0,26	0,38	1327,00
	12	1,30	0,05	0,80	0,35	0,22	0,32	1860,00
	16	1,40	0,07	0,80	0,50	0,24	0,35	2237,00
IAC51-205	0	1,20	0,04	0,70	0,50	0,31	0,36	486,00
	4	1,10	0,07	0,90	0,55	0,28	0,43	1279,00
	8	1,20	0,07	1,00	0,40	0,28	0,33	1379,00
	12	1,20	0,06	0,90	0,35	0,23	0,31	1922,00
	16	1,10	0,08	0,95	0,50	0,27	0,36	2702,00
IAC52-150	0	1,20	0,05	0,90	0,40	0,25	0,35	345,00
	4	1,30	0,06	0,90	0,40	0,22	0,39	1134,00
	8	1,10	0,07	1,00	0,40	0,24	0,35	1304,00
	12	1,30	0,07	1,10	0,50	0,23	0,39	1820,00
	16	1,30	0,07	0,90	0,40	0,20	0,26	1832,00
d.m.s. 5% T.d.C.		0,38	0,06	0,47	0,18	0,08	0,18	724
d.m.s. 5% C.d.T.		0,33	0,03	0,38	0,16	0,08	0,16	745

T: Concentrações de alumínio

C: Cultivar

Tabela 8: Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em colmos de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)

Cultivares	Tratamentos (ppm Al)	%						ppm
		N	P	K	Ca	Mg	S	Al
NA56-79	0	1,50	0,06	4,40	0,40	0,35	0,42	23,50
	4	1,50	0,09	4,10	0,30	0,32	0,50	29,50
	8	1,60	0,08	4,50	0,32	0,37	0,31	47,00
	12	1,50	0,08	4,70	0,40	0,34	0,49	33,50
	16	1,40	0,09	4,30	0,30	0,33	0,46	56,00
CP51-22	0	1,20	0,06	3,80	0,40	0,34	0,44	19,00
	4	1,15	0,07	3,60	0,30	0,27	0,45	10,25
	8	1,15	0,07	3,90	0,30	0,30	0,37	63,50
	12	1,10	0,07	3,90	0,30	0,27	0,46	48,50
	16	1,20	0,08	3,75	0,30	0,23	0,31	98,70
IAC58-480	0	1,40	0,05	3,80	0,40	0,38	0,43	16,00
	4	1,30	0,08	3,60	0,40	0,39	0,52	11,00
	8	1,50	0,07	4,00	0,40	0,38	0,32	43,00
	12	1,35	0,07	4,00	0,30	0,31	0,48	12,00
	16	1,50	0,09	3,80	0,40	0,38	0,39	72,50
CB53-98	0	1,10	0,05	3,50	0,50	0,39	0,42	45,50
	4	1,20	0,09	3,60	0,50	0,41	0,49	63,50
	8	1,20	0,08	3,80	0,50	0,44	0,35	68,50
	12	1,30	0,09	3,70	0,40	0,35	0,40	43,50
	16	1,15	0,09	3,50	0,40	0,38	0,30	113,50
CB41-76	0	1,40	0,06	3,70	0,50	0,40	0,32	35,00
	4	1,30	0,08	3,30	0,40	0,42	0,43	46,50
	8	1,30	0,07	3,70	0,50	0,43	0,40	30,50
	12	1,35	0,07	3,50	0,70	0,53	0,38	38,70
	16	1,40	0,07	3,10	0,35	0,32	0,27	73,50
IAC51-205	0	1,30	0,06	3,50	0,55	0,43	0,41	6,50
	4	1,30	0,09	3,30	0,50	0,44	0,45	11,50
	8	1,30	0,08	3,50	0,50	0,41	0,32	51,50
	12	1,40	0,08	3,70	0,50	0,42	0,46	90,50
	16	1,20	0,09	3,60	0,40	0,37	0,32	64,00
IAC52-150	0	1,30	0,07	3,55	0,40	0,41	0,48	10,50
	4	1,50	0,08	3,30	0,50	0,44	0,56	41,00
	8	1,30	0,08	3,90	0,30	0,36	0,35	40,50
	12	1,20	0,07	3,75	0,30	0,34	0,51	18,00
	16	1,40	0,10	3,50	0,40	0,38	0,42	67,50
d.m.s. 5% T.d.C.		0,26	0,06	1,10	0,20	0,12	0,24	85
d.m.s. 5% C.d.T.		0,27	0,02	0,83	0,21	0,12	0,14	79

T: Concentrações de alumínio
C: Cultivar

Tabela 9: Teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em folhas de cana-de-açúcar em função de doses crescentes de alumínio e d.m.s. (Tukey 5%)

Cultivares	Tratamentos (ppm Al)	%						ppm
		N	P	K	Ca	Mg	S	Al
NA56-79	0	1,70	0,09	2,50	0,60	0,32	0,18	26,00
	4	1,80	0,11	2,50	0,46	0,29	0,22	21,00
	8	1,85	0,10	2,60	0,44	0,28	0,20	57,00
	12	1,70	0,10	2,70	0,46	0,28	0,20	42,00
	16	1,70	0,11	2,50	0,40	0,26	0,16	39,00
CP51-22	0	1,60	0,09	2,20	0,57	0,37	0,20	37,00
	4	1,70	0,08	2,10	0,36	0,26	0,19	27,00
	8	1,50	0,09	2,50	0,35	0,25	0,19	45,00
	12	1,50	0,09	2,20	0,35	0,23	0,16	33,50
	16	1,70	0,11	2,50	0,32	0,23	0,15	37,00
IAC58-480	0	1,70	0,07	2,30	0,49	0,30	0,19	20,00
	4	1,60	0,09	2,10	0,38	0,24	0,17	27,50
	8	1,80	0,10	2,60	0,40	0,26	0,21	57,00
	12	1,60	0,09	2,50	0,39	0,24	0,23	22,00
	16	1,80	0,12	2,40	0,41	0,25	0,16	41,00
CB53-98	0	1,50	0,06	2,00	0,45	0,24	0,16	24,00
	4	1,50	0,10	2,05	0,45	0,26	0,20	12,00
	8	1,60	0,10	2,30	0,44	0,26	0,19	58,00
	12	1,50	0,10	2,05	0,44	0,25	0,21	32,00
	16	1,65	0,10	2,10	0,39	0,23	0,15	60,00
CB41-76	0	1,50	0,07	2,50	0,51	0,25	0,15	27,50
	4	1,50	0,09	2,20	0,44	0,24	0,16	43,50
	8	1,60	0,08	2,60	0,43	0,24	0,19	32,00
	12	1,60	0,09	2,60	0,54	0,27	0,21	57,70
	16	1,80	0,08	2,60	0,47	0,22	0,15	86,00
IAC51-205	0	1,60	0,07	2,30	0,53	0,26	0,25	20,00
	4	1,70	0,10	2,20	0,48	0,27	0,19	24,50
	8	1,60	0,08	2,20	0,44	0,23	0,19	45,00
	12	1,60	0,08	2,30	0,39	0,24	0,19	30,00
	16	1,70	0,10	2,25	0,39	0,24	0,17	43,50
IAC52-150	0	1,60	0,08	2,20	0,53	0,28	0,25	34,00
	4	1,60	0,09	1,90	0,41	0,27	0,23	39,50
	8	1,80	0,10	2,20	0,41	0,28	0,24	52,50
	12	1,60	0,08	2,10	0,38	0,22	0,24	38,70
	16	1,80	0,10	2,10	0,25	0,22	0,19	30,50
d.m.s. 5% T.d.C		0,32	0,07	0,69	0,15	0,08	0,09	75
d.m.s. 5% C.d.T		0,32	0,02	0,57	0,14	0,07	0,09	60

T: Concentrações de alumínio
C: Cultivar

Tabela 10: Resumo das análises de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em raízes de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio

Quadrados Médios									
Causas de Variação	G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Al	
Concentração de Al	4	0,088032	0,004664	0,193820	0,008920	0,007605	0,035262	18315601**	
Resíduo (a)	15	0,111589	0,004219	0,198057	0,022686	0,003162	0,024156	216972	
Cultivares	6	0,297270**	0,000879**	1,586672**	0,051806**	0,022344**	0,055345*	244813	
Conc. x Cultivares	24	0,024061	0,000172	0,029131	0,006341	0,001232	0,009492	163925	
Resíduo (b)	90	0,023598	0,000218	0,031659	0,005377	0,001381	0,005815	121403	
CV % (a)		27,00	98,30	41,00	40,05	23,00	39,00	32,00	
CV % (b)		12,40	22,30	16,25	19,50	15,00	19,00	24,00	

**= Quadrados médios correspondentes a valores de F significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 11: Resumo das análises de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em colmos de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio

		Quadrados Médios							
Causas de Variação		G.L.	N	P	K	Ca	Mg	S	Al
Concentração de Al		4	0,003517	0,003120	0,561522	0,026310	0,010600	0,105933	12958,98
Resíduo (a)		15	0,021826	0,005342	1,195486	0,018947	0,005759	0,067854	4694,03
Cultivares		6	0,229483**	0,000367*	2,008698**	0,093319**	0,04457**	0,02344**	2738,34
Conc. x Cultivares		24	0,022948	0,000773	0,064539	0,01771*	0,006271*	0,006590	1190,75
Resíduo (b)		90	-0,016335	0,000130	0,150984	0,009307	0,003104	0,004247	1357,30
CV % (a)			11,20	94,40	29,20	34,00	20,30	63,10	155,23
CV % (b)			9,70	15,00	10,40	24,00	14,90	16,00	84,00

*= Quadrados médios correspondentes a valores de F significativo ao nível de 5% de probabilidade

**= Quadrados médios correspondentes a valores de F significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela 12: Resumo das análises de variância de variância dos teores de macronutrientes (%) e de alumínio (ppm) em folhas de cana-de-açúcar, em função de doses crescentes de alumínio

Causas de Variação	G.L.	Quadrados Médios							
		N	P	K	Ca	Mg	S	Al	
Concentração de Al	4	0,087390	0,003212	0,316878	0,076065*	0,010985	0,008890	3247,32	
Resíduo (a)	15	0,064535	0,007160	0,395087	0,015654	0,003741	0,005893	4943,43	
Cultivares	6	0,083323**	0,000815**	0,683199**	0,019515**	0,004228**	0,007426**	614,18	
Conc. x Cultivares	24	0,015406	0,000266**	0,462252	0,006283	0,002325*	0,001770	582,40	
Resíduo (b)	90	0,020234	0,000127	0,071739	0,004434	0,001245	0,001656	797,31	
CV % (a)		15,40	91,30	27,30	29,00	24,00	39,70	185,00	
CV % (b)		8,60	12,10	11,60	15,20	14,00	21,00	75,00	

* = Quadrados médios correspondentes a valores de F significativo ao nível de 5% de probabilidade

** = Quadrados médios correspondentes a valores de F significativo ao nível de 1% de probabilidade

<u>Cultivar</u>	<u>Tecido</u>	<u>Equação</u>	<u>F</u>	<u>r²</u>
IAC52-150	colmos	$y=1,3123+0,1088x-0,201x^2+0,0008x^3$	9,80**	91
CB41-76	folhas	$y=1,4860+0,01393x$	4,70*	68

* Valores de F significativo a 5% de probabilidade

** Valores de F significativo a 1% de probabilidade

Para a cultivar IAC52-150 a concentração de Al em solução capaz de proporcionar o maior teor de N é de 1,48 ppm, enquanto que na CB41-76 os teores foliares de N aumentaram linearmente com os níveis de Al.

Em arroz, toxidez de alumínio tem sido caracterizada, entre outros parâmetros, por concentrações mais altas de N na parte aérea (OTA, 1968).

Avdonin *et alii*, citados por FOY (1974), notaram que o Al influenciava negativamente o teor de açúcar, aumentava a taxa de N não proteico e diminuía o teor foliar de P em várias plantas crescidas em solos podzólicos ácidos. Toxidez de alumínio também tem sido associada com interferência na síntese de amido, proteína e redução na translocação de açúcares (OTA, 1968). Essas observações sugerem que na cana-de-açúcar a relação entre Al e N poderá interferir na acumulação e/ou translocação de açúcares.

Potássio: A cultivar CP51-22 foi a única a apresentar os teores de K influenciados pelos tratamentos.

Os valores de K nas raízes aumentaram linearmente com os níveis de Al, como revela a equação $y=1,1080+0,0208x$ que apresentou valores de $F=5,00^*$, significativo a 5%, e $r^2=62$.

Elevação dos teores de potássio nas raízes, em função de níveis crescentes de Al, também foi observada em leguminosas (MACLEOD e JACKSON, 1965). Em alguns casos toxidez de Al tem sido associada a menor absorção de K (OTA, 1968; HARWARD *et alii*, 1955).

Cálcio: O comportamento das concentrações de cálcio nos tecidos da cana-de-açúcar influenciados pelo Al, é evidenciado pelas equações de regressão que são expressas a seguir, com os correspondentes valores de F e r^2 :

<u>Cultivar</u>	<u>Tecido</u>	<u>Equação</u>	<u>F</u>	<u>r^2</u>
IAC51-205	raízes	$y=0,4779+0,0517x-0,115x^2+0,0005x^3$	7,90**	61
CB41-76	colmos	$y=0,4697-0,0707x+0,0161x^2-0,0008x^3$	12,60**	57
IAC51-205	colmos	$y=0,5395-0,0088x$	4,65*	67
NA56-79	folhas	$y=0,5490-0,0097x$	10,00**	69
CP51-22	folhas	$y=0,4910-0,0125x$	17,00**	63
IAC51-205	folhas	$y=0,5185-0,0090x$	8,60**	94
IAC52-150	folhas	$y=0,4990-0,1000x$	11,00**	83

* Valores de F significativo a 5% de probabilidade

** Valores de F significativo a 1% de probabilidade

Independentemente das tendências cúbica ou linear, verificadas para as diferentes cultivares e tecidos, observa-se que o alumínio exerceu influência depressiva sobre as concentrações de cálcio na cana-de-açúcar. Tal constatação está em concordância com resultados obtidos para outras culturas (OTA, 1968; WAARD e SUTTON, 1960; HARWARD *et alii*, 1955; FOY *et alii*, 1967 e 1969).

Muitos pesquisadores têm associado toxidez de Al com redução da absorção de vários nutrientes pelas plantas, particularmente Ca e P (MACLEAN e CHIASSON, 1966; JOHNSON e JACKSON, 1964; LANCE e PEARSON, 1969; LONG e FOY, 1970). Embora não persista dúvida sobre a grande influência do Al na acumulação e distribuição do Ca na planta, a maneira pela qual isso ocorre é pouco conhecida (JACKSON, 1967).

Magnésio: De uma maneira geral os teores de Mg nos tecidos da cana-de-açúcar decresceram com a elevação do alumínio.

As equações de regressão acompanhadas dos valores de F e r^2 , que exprimem os efeitos do alumínio sobre os teores de Mg, são:

<u>Cultivar</u>	<u>Tecido</u>	<u>Equação</u>	<u>F</u>	<u>r^2</u>
CB41-76	raízes	$y=0,3005-0,0005x$	9,80**	78
IAC51-205	raízes	$y=0,3030-0,0350x$	4,80*	57
CP51-22	colmos	$y=0,3285-0,0054x$	5,40*	71
CB41-76	colmos	$y=0,4118-0,0284x+0,0076x^2-0,004x^3$	10,00**	40
NA56-79	folhas	$y=0,3135-0,0035x$	4,90*	83
CP51-22	folhas	$y=0,3315-0,0078x$	24,00**	74
IAC52-150	folhas	$y=0,2890-0,0041x$	6,60*	76

* Valores de F significativo a 5% de probabilidade

** Valores de F significativo a 1% de probabilidade

Efeitos depressivos do Al sobre os teores de Mg tem sido constatados em outras espécies de plantas (RESS e SIDRAK, 1961; DEWAARD e SUTTON, 1960; OTA, 1968; CLARK, 1977; LEE, 1971 e NOGUEIRA, 1979). Segundo KAMPRATH e FOY (1971), em solo fortemente ácido a causa de redução na absorção de Mg é o antagonismo Al - Mg e não o baixo nível de Mg no solo.

Enxofre: Pelas equações de regressão, pode-se verificar o comportamento das concentrações de enxofre nas raízes e nas folhas das cultivares que sofreram influência do alumínio.

<u>Cultivar</u>	<u>Tecido</u>	<u>Equação</u>	<u>F</u>	<u>r^2</u>
NA56-79	raízes	$y=0,4035+0,0081x$	5,00*	75
IAC58-480	folhas	$y=0,1952-0,0202x+0,0043x^2-0,0002x^3$	4,25*	73
IAC52-150	folhas	$y=0,2890-0,0041x$	6,60*	76

* Valores de F significativo a nível de 5% probabilidade

Os resultados obtidos revelam tendências depressivas do Al sobre os teores de S nas folhas.

Não se encontrou, na literatura, dados concernentes a efeitos do alumínio sobre a concentração de enxofre em cana-de-açúcar e outras culturas.

Alumínio: Os teores de Al aumentaram progressivamente nas raízes, colmos e folhas da cana-de-açúcar de acordo com os níveis de Al em solução nutritiva, como pode ser observado através das equações de regressão, inseridas na Tabela 13.

Independentemente dos tratamentos (níveis de Al) e das cultivares observa-se pelos valores das Tabelas 7, 8 e 9 que os teores de Al nas raízes são superiores aos registrados nos colmos e nas folhas em cerca de 35 vezes. Ainda pelas referidas Tabelas nota-se que os teores de Al das diferentes partes das plantas não se relacionam, ou seja, cultivar que apresenta maior concentração de Al nas raízes não expressa essa mesma característica para parte aérea.

Em algumas plantas afetadas pelo Al, este tende a se acumular nas raízes e não na parte aérea (MACLEOD e JACKSON, 1965; FOY *et alii* 1967). Em alfafa, RORISON (1958), verificou que a inibição da elongação das raízes estava associada a uma rápida absorção de Al e sugeriu que plantas tolerantes podem absorvê-lo mais lentamente.

Diversos trabalhos revelam que plantas tolerantes ao Al contêm menores concentrações do referido elemento na parte aérea, em comparação a plantas sensíveis (QUELLETTE e DESSUREAUX, 1958; Otsuca; Lunt e Kofranek, citados por FOY, 1974).

Concentrações de Al em raízes de plantas são frequentemente correlacionadas negativamente com produções em solos ácidos (OTA, 1968; FOY, 1974).

O maior acúmulo de Al nas raízes encontra explicação no mecanismo de quelação do elemento por ácido orgânico, proposto por JONES (1961). Essa explicação é reforçada

Tabela 13: Equações de regressão para teores de alumínio, em ppm, em diferentes cultivares e partes de cana-de-açúcar, em função dos tratamentos empregados, com os respectivos valores de F e coeficientes de determinação (r^2).

Cultivares	Partes	Equação	F	r^2
NA56-79	raízes	$y = 297,1 + 162,78x$	125,00**	94
CP51-22	raízes	$y = 263,2 + 139,34x$	92,00**	94
IAC58-480	raízes	$y = 354,4 + 140,70x$	94,00**	94
CB53-98	raízes	$y = 514,3 + 106,31x$	53,00**	95
CB41-76	raízes	$y = 545,2 + 108,62x$	56,00**	92
IAC51-205	raízes	$y = 538,5 + 126,91x$	76,00**	95
IAC52-150	raízes	$y = 555,4 + 91,49x$	40,00**	90
CP51-22	colmos	$y = 8,4 + 4,9437x$	8,50**	77
IAC51-205	colmos	$y = 6,0 + 4,8500x$	8,20**	74
CB41-76	folhas	$y = 23,1 + 3,2812x$	4,90*	77

* Valores de F significativo a 5% de probabilidade

** Valores de F significativo a 1% de probabilidade

por Chamura e Koike, citados por FOY (1974), segundo os quais a tolerância de várias espécies de plantas a solos ácidos foi positivamente correlacionada com o teor de ácido cítrico das raízes; entretanto, as espécies tolerantes apresentaram concentrações inferiores de ácido cítrico e outros ácidos orgânicos na lâmina foliar, quando comparadas a espécies sensíveis a solos ácidos.

A despeito dos efeitos do Al sobre as concentrações dos elementos em raízes, colmos e folhas, não foi possível estabelecer relação entre os teores dos mesmos e produções de matéria seca das partes analisadas. Provavelmente tal constatação está vinculada ao adequado suprimento de nutrientes a cana-de-açúcar, fato comprovados pela não visualização de sintomas de deficiências das plantas durante seu desenvolvimento, mesmo nas cultivares cujos teores foliares, principalmente Ca e Mg, foram depressivamente influenciados pelo Al.

Os teores de macronutrientes e de Al nos tecidos da cana-de-açúcar, não se relacionam com o grau de tolerância da cultura ao alumínio.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com o presente trabalho permitiram as seguintes conclusões:

- . As cultivares diferiram entre si nas produções de matéria seca de raízes e de folhas, independentemente dos níveis de alumínio empregados;
- . O alumínio afetou a produção de matéria seca apenas nas cultivares IAC58-480 e CB41-76;
- . Matéria seca de raízes foi o melhor parâmetro para avaliação do efeito do alumínio na cana-de-açúcar;
- . Concentrações estimadas de alumínio de 1,56 e 7,49 ppm em solução nutritiva, foram suficientes para reduzir em 20% o peso de raízes das cultivares IAC58-480 e CB41-76, respectivamente;
- . O alumínio influenciou as concentrações de alguns elementos nas raízes (K, Ca, S e Al), nos colmos (N, Ca, Mg e Al) e nas folhas (Ca, Mg, S e Al) de diversas cultivares;

. Os teores de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg e S) e de Al não se correlacionaram com os dados de produção.

6. LITERATURA CITADA

- ARAÚJO FILHO, J. T. de; G. A. G. de ALBUQUERQUE e M. L. MARINHO, 1980. Comportamento da soja (*Glycine* sp). sob diferentes teores de alumínio no solo em casa de vegetação. In: Resumos da XIV Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Curitiba.
- AYRES, A. S.; H. H. HAGIARA e F. STANFORD, 1965. Significance of extractable aluminum in Hawaiian sugarcane soils. Proceedings Soil Science Society of America. Madison 29:387-392.
- AZEREDO, D. F. de; N. A. da GLÓRIA e M. S. MANHÃES, 1981. Efeitos da calagem na cana-planta e nas características químicas de dois solos do Estado do Rio de Janeiro. In: Anais do II Congresso Nacional da STAB, Rio de Janeiro. 3/4:71-88.
- BEAR, F. E., 1964. Chemistry of the soil. 2a. ed. New York, Reinhold Publishing. 515p.
- BERTLAND, D. e A. DE WOLF, 1968. Aluminum, trace element necessary for corn? C. R. Hebd Seances Acad. Sci, ser. D, Natur. Paris, 267(26):2325-27. Apud Biol. Abstr.

Philadelphia, 50:133-592.

- BRAUNER, J. L., 1979. Tolerância de cultivares de trigo (Triticum aestivum L.) ao alumínio e ao manganês: sua determinação, influência na concentração de nutrientes e absorção de cálcio e fósforo. Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP, 211 p. (Tese de Doutorado).
- CAMARGO, M. N., 1976. Incidência de alumínio permutável nos solos e proporção de ocorrência em diversas regiões do Brasil. In: Anais do XV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Campinas, p.603-613.
- CHIASSON, T. C., 1964. Effect of N, P, Ca and Mg treatments on yield of barley varieties grown on acid soils. Canadian Journal of Plant Science. Ottawa, 44: 525-530.
- CLARK, R. B., 1977. Effects of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. Plant and Soil. The Hague, 47:653-662.
- COPERSUCAR, São Paulo, 1977. Recomendações de fertilizantes em cana-de-açúcar. Boletim Técnico COPERSUCAR. São Paulo, (4): 7-13.
- CORDEIRO, D. A., 1978. Efeitos da calagem e da adubação potássica sobre produção de colmo e equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar (Saccharum spp). Piracicaba, E. S.A. "Luiz de Queiroz"/USP, 59 p. (Dissertação de Mestrado).
- DIOS, V. R. e T. C. BROYER, 1962. Efecto de niveles altos de magnesio en la absorcion del aluminio y en el crecimiento del maiz en soluciones de cultivo. Anales de E-

da fologia y Agrobiologia. Berkley, 21:13-30.

- ESPIRONELLO, A. e H. OLIVEIRA, 1972. Orientação geral para adubação da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo. Boletim 201 do Instituto Agronomico de Campinas. Campinas. 16 p.
- ESSEN, A. van e G. DANTUNA, 1962. Tolerance to acid soil conditions in barley. Euphytica. Wageningen, 11:282-286.
- EVANS, H., 1959. Elements other than nitrogen, potassium and phosphorus in the mineral nutrition of sugarcane. In: Proceedings of the 10th Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists. Havana, pp. : 473-508.
- FASSBENDER, H. W., 1975. Química de suelos; con énfasis en suelos de América Latina. San José, IICA. 398p.
- FOY, C. D., 1974. Effects of aluminum on plants growth. In: CARSON, E. W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p.601-642.
- FOY, C. D., 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. Ciência e Cultura. São Paulo, 28(2):150-155.
- FOY, C. D.; A. L. FLEMING; G. R. BURNS e W. H. ARMIGER, 1967. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. Agronomy Journal. Madison, 31:513-521.
- FOY, C. D.; A. L. FLEMING e J. W. SCHWARTZ, 1973. Opposi-

te aluminum and manganese tolerances of two wheat varieties. Agronomy Journal. Madison, 65:123-126.

- FOY, C. D.; A. L. FLEMING e W. H. ARMIGER, 1969. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. Agronomy Journal. Madison, 61:505-511.
- FOY, C. D.; G. R. BURNS; J. C. BROWN e A. L. FLEMING, 1965. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 29:64-67.
- FOY, C. D. e J. C. BROWN, 1963. Toxic factors in acid soils: I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 27:403-407.
- FOY, C. D. e J. C. BROWN, 1964. Toxic factors in acid soils: II. Differential aluminum tolerance of plant species. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 28:27-32.
- FOY, C. D.; R. G. ORELLANA; J. W. SCHWARTZ e A. L. FLEMING, 1974. Responses of sunflower genotypes to aluminum in acid soil and nutrient solution. Agronomy Journal. Madison, 66:293-296.
- FOY, C. D.; W. H. ARMIGER; L. W. BRIGGLE e D. A. REID, 1965a. Differential aluminum tolerance of wheat and barley varieties in acid soils. Agronomy Journal. Madison, 57:443-417.
- GUIMARÃES, E.; I. DEGASPARI; M. GURGEL e O. ALONSO, 1975. Estudo da influência de 2 tipos de calcário sobre a aciu

dez do solo e a produção de cana-de-açúcar. In: Anais do III Seminário COPERUCAR da Agroindústria Açucareira, Águas de Lindóia, p.279-284.

- HAAG, H. P., 1965. Estudos de nutrição mineral na cana-de-açúcar (Saccharum officinarum L.) variedade CB41-76 cultivada em solução nutritiva. Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP, 141p. (Tese de livre Docente).
- HACKETT, C., 1962. Stimulative effects of aluminium on plant growth. Nature. London, 195(4840):471-472.
- HARWARD, M. E.; W. A. JACKSON; W. L. LOTT e D. D. MASON, 1955. Effects of Al, Fe, and Mn upon the growth and composition of lettuce. Proceedings American Society for Horticultural Science. College Park, 66:261-266.
- HAYNES, J. L., 1970. Uso agrícola dos tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil. Recife, SUDENE. 153p.
- HOAGLAND, D. R. e D. I. ARNON, 1950. The Water-culture method of growing plants without soil. Berkeley, California Agriculture Experiment Station. 32p. (Circular, 347).
- HOWELER, R. H. e L. F. CADAVID, 1976. Screening of rice cultivars for tolerance to Al - toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. Agonomy Journal. Madison, 68:551-555.
- HUMBERT, R. P., 1974. El cultivo de la caña de azúcar. México, Editorial Continental. 719p.
- IAA/PLANALSUCAR, COONE, Rio Largo, 1978. Relatório anual da Seção de Solos e Adubação. Rio Largo-Alagoas.

- IAA/PLANALSUCAR, SUPER, Piracicaba, 1980. Relatório Anual; 1980. Piracicaba. 116p.
- JACKSON, W. A., 1967. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R. W. e F. ADAMS. ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy p.43-123.
- JACOBSON, L., 1951. Maintenance of iron supply in nutrient solutions by a single addition of ferric potassium ethylene - diamine - tetra - acetate. Plant Physiology. Lancaster, 26:411.
- JOHNSON, R. E. e W. A. JACKSON, 1964. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 28:381-386.
- JONES, L. H., 1961. Aluminium uptake and toxicity in plants. Plant and Soil. The Hague, 13:297-310.
- KAMPRATH, E. J., 1970. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Proceedings Soil Science. Society of America. ~~Madison~~ 34:252-254.
- KAMPRATH, E. J. e C. D. FOY, 1971. Lime-Fertilizer-Plant interactions in acid soils. In: DINAUER, R. C., ed. Fertilizer Technology & Use. 2a. ed. Madison, Soil Science Society of America, p.105-151.
- KERRIDGE, P. C.; M. D. DAWSON e D. P. MOORE, 1971. Separation of degrees of aluminum tolerance in wheat. Agronomy Journal. Madison, 63:586-591.
- KRUG, F. J.; H. BERGAMIN FILHO; E. A. G. ZAGATTO e S. S.

- JORGENSEN, 1974. Rapial determination of sulfhate in natural waters and plant digests by continuons flow injection Turbidimetry. Analyst. London, 102:503-508.
- LANCE, J. C. e R. W. PEARSON, 1969. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 33:95-98.
 - LEE, C. R., 1971. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. Agronomy Journal. Madison, 63:604-608.
 - LONG, F. L. e C. D. FOY, 1970. Plant varieties as indicators of aluminum toxicity in the A₂ horizon of a Norfolk soil. Agronomy Journal. Madison, 62:679-681.
 - MACLEAN, A. A. e T. C. CHIASSON, 1966. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentrations. Canadian Journal of Soil Science. Ottawa, 46:147-153.
 - MACLEOD, L. B. e L. P. JACKSON, 1965. Effect of concentration of the aluminum ion on root development and establishment of legume seedlings. Canadian Journal of Soil Science. Ottawa, 45:221-234.
 - MARINHO, M. L.; G. A. de ALBUQUERQUE e J. T. de ARAÚJO FILHO, 1981. Calibração de Al³⁺ do solo para cana-de-açúcar em Alagoas. Maceió, IAA/PLANALSUCAR. 16p.
 - MARINHO, M. L.; J. T. de ARAÚJO FILHO e C.R.L. de MENEZES, 1980. Comportamento da cana-de-açúcar (Saccharum spp) sob diferentes teores de alumínio no solo em casa de vegetação. In: Resumos da XIV Reunião Brasileira de Fer-

tilidade do solo, Cuibã.

- MARTIN, J. P. e H. EVANS, 1964. Nutritional deficiencies and toxicities. In: HUGHER, C. G.; E. U. ABBOTT e C. A. WISMER, ed. Sugar-cane diseases of world. Amsterdam, Elsevier, v. 2, p.199-236.

- MARTINI, J. A.; R. A. KOCHHANN; E. P. GOMES e F. LANGER, 1977. Response of wheat cultivars to liming in some high Al oxisols of Rio Grande do Sul, Brasil. Agronomy Journal. Madison, 69:612-615.

- McLEAN, F. T. e B. E. GILBERT, 1928. Aluminum toxicity. Plant Physiology. Lancaster, 3:293-303.

- MESDAG, J. C. e L. A. J. SLOOTMAKER, 1969. Classifying wheat varieties for tolerance to high soil acidity. Euphytica. Wageningen, 18:36-42.

- MOORE, D. P., 1974. Physiological effects of pH on roots. In: CARSON, E. W., ed. The plant-roots and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, p.134-151.

- MUNN, D. A. e R. McCOLLUM, 1976. Solution culture evaluation of sweet potato cultivar tolerance to aluminum. Agronomy Journal. Madison, 69:989-991.

- MUNNS, D. N., 1965. Soil acidity and growth of a legume: II. Reactions of aluminum and phosphate solution and effects of aluminum, phosphate, calcium and pH on Medicago sativa L. and Trifolium subterraneum L. in solution culture. Australian Journal Agricultural Research. Melbourne, 16:743-755.

- NEENAN, M., 1960. The effects of soil acidity on the growth of cereals with particular reference to the differential reaction varieties thereto. Plant and Soil. The Hague, 12:324-338.
- NOGUEIRA, F. D., 1979. Efeitos do alumínio no sorgo grãifero (Sorghum bicolor L. Moench). Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP, 120p. (Tese de Doutorado).
- OLMOS, I. L. J. e M. N. CAMARGO, 1976. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. Ciência e Cultura. São Paulo, 28(2):171-180.
- ORLANDO FILHO, J. e E. ZAMBELLO JUNIOR, 1980. Viagem de estudos realizada à África do Sul, Filipinas, Havai e Louisiana. Piracicaba, IAA/PLANALSUCAR. 49p.
- ORLANDO FILHO, J. e H. P. HAAG, 1976. Levantamento do estado nutricional de N, P, K, Ca, Mg e S, em 16 variedades de cana-de-açúcar (Saccharum spp) pela análise foliar. Brasil Açucareiro. Rio de Janeiro, 88(2):10-27.
- OTA, Y., 1968. Mode of the occurrence of brozing in rice plants. JARQ. Tokyo, 1:1-5.
- PEARSON, R. W. e F. ADAMS, 1967. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy. 27p. (Agronomy, 12).
- PIMENTEL GOMES, F. 1977. Estatística Experimental. São Paulo, Livraria Nobel. 430p.
- QUELLETTE, G. J. e L. DESSUREAUX, 1958. Chemical composition of alfafa as related to degree of tolerance to man

ganese and aluminum. Canadian Journal of Plant Science. Ottawa, 38:206-214.

- REES, W. J. e G. H. SIDRAK, 1961. Interrelationship of aluminum and manganese toxicities toward plants. Plant and Soil. The Hague, 14:101-117.
- REID, D.; A. L. FLEMING e C. D. FOY., 1971. A method for determining aluminum response of barley in nutrient solution in comparison to response in Al-toxic Soil. Agronomy Journal. Madison, 63:600-663.
- RIOS, M. A. e R. W. PEARSON, 1964. The effect of some chemical environmental factors on cotton root behavior. Proceedings Soil Science Society of America. Madison, 28:332-335.
- RORISON, I. H., 1958. The effect of aluminium on legume nutrition. In: HALLSWORTH, E. G., ed. Nutrition of the legumes. London, Butterwoths Scientific Publications, p.43-61.
- RUSCHEL, A. P.; R. ALVAHYDO e I. B. M. SAMPAIO, 1968. Influência do excesso de alumínio no feijão (Phaseolus vulgaris L.)cultivado em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, 3:229-233.
- SALINAS, J. G. e P. A. SANCHEZ, 1976. Tolerance to aluminum toxicity and available soil phosphorus. In: NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY, Raleigh. Soil Science Department. Agronomic Economic Research on Tropical Soils - Annual Report for - 1975. Raleigh, p.40-65.
- SANTOS, M. A. C. dos.; A. F. de SOBRAL; A. P. MEDEIROS e J. M. de A. PEREIRA, 1980. Effect of liming on the pro

duction of sugarcane and the fertility of the soil in the State of Pernambuco. In: Proceedings of the XVII Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists. Manila, p.233-243.

- SARRUGE, J. R. e H. P. HAAG, 1974. Análises químicas em plantas. Piracicaba, E.S.A. "Luiz de Queiroz"/USP. 55p.
- SILVA, W. M. da, 1975. Termoterapia em gemas isoladas para controle do raquitismo da soqueira. In: Anais do III Seminário COPERSUCAR da Agroindústria Açucareira, Águas de Lindóia, p.211-214.
- SPARLING, J. H., 1967. The occurrence of Schoenus nigricans L. in blanket bogs. II. Experiments on the growth of S. nigricans under controlled conditions. Journal Ecology. London, 55:15-31.
- WAARD, P. W. F. de, e C. D. SUTTON, 1960. Toxicity of aluminium to black pepper (Piper nigrum L.) in Sarawak. Nature. London, 188:1129-1130.
- WUTKE, A. C. P., 1972. Acidez. In: MONIZ, A. C., coord. Elementos de pedologia. São Paulo, USP/Pentágono, p.149-68.