

RELAÇÃO ENTRE A TOXIDEZ DO ALUMÍNIO E A PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR (*SACCHARUM SPP.*)¹

ANTONIO FERNANDO DE SOBRAL e VLADIMIR OLIVEIRA DA SILVA GUIMARÃES²

RESUMO – Com o objetivo de determinar classes de toxidez do alumínio no solo, foram correlacionadas produções relativas de cana-de-açúcar (PR = 100.produção sem calcário/produção com calcário) com os valores de Al^{+3} e da saturação de alumínio “m”, ($m = Al^{+3} .100/Al^{+3} + S$) de 14 ensaios de calagem desenvolvidos na região canavieira do estado de Pernambuco. Tanto para o Al^{+3} como para o valor “m”, a correlação que apresentou o melhor ajuste foi a proporcionada pela equação $1/y = a + bx$, com os respectivos índices de correlação significativos ($r = 0,88^{**}$ e $0,92^{**}$). A partir dos valores de produção relativa, foram estabelecidas as seguintes classes de teores de Al^{+3} (meq/100 g): baixo (< 0,4); médio (0,4 a 0,8); alto (0,8 a 1,2) e muito alto (> 1,2). As classes de percentagem da saturação de alumínio foram: baixa (< 18%); média (18 a 30%); alta (30 a 45%) e muito alta (> 45%).

Termos para indexação: acidez do solo, calagem, cana-de-açúcar.

RELATION BETWEEN ALUMINUM TOXICITY AND SUGARCANE (*SACCHARUM SPP.*)

ABSTRACT – Results from 14 plant cane liming trials carried out in Pernambuco State, Brazil, were utilized for establishing levels of aluminum toxicity expressed by Al^{+3} and their saturation “m” ($m = Al^{+3} .100/Al^{+3} + S$). Relative cane yields ($Ry = 100.yield\ without\ lime / yield\ with\ lime$) were correlated with both and in the two cases, the best correlation was obtained by using the equation $1/y = a + bx$, with correlation coefficient of $0,88^{**}$ and $0,92^{**}$ respectively. The soil aluminum toxicity degress expressed in meq/100 g were established as low (< 0,4); medium (0,4 - 0,8); high (0,8 - 1,2) and very high (> 1,2). Degress of Al^{+3} saturation (%) were the following ones: low (< 18%); medium (18 - 30); high (30 - 45) and very high (> 45%).

Index terms: soil acidity, liming, sugarcane

INTRODUÇÃO

É conhecido o fato de os solos das regiões tropicais e subtropicais apresentarem reação ácida, sendo, na sua maioria, latossolos bastante intemperizados; possuem um complexo de baixo nível de troca e presença de alumínio em concentrações tóxicas que limitam a produtividade agrícola.

A influência da toxidez do Al sobre o desenvolvimento do sistema radicular e na interferência da absorção de nutrientes tem sido apresentada como uma das principais causas

da baixa produtividade de muitos desses solos (Fried & Peech 1946), Gilbert & Pember 1930, Ayres 1961 e Kamprath 1970). Na condição de toxidez elevada de Al, as funções bioquímicas das raízes são afetadas e o seu desenvolvimento é prejudicado, em decorrência do processo celular por ligação do Al com ácidos nucleicos, segundo Coleman & Thomas (1967) e Bear (1964); além disso, a toxidez provoca a fixação do P para formas menos disponíveis, diminuição da taxa de respiração, interferência em reações enzimáticas responsáveis pela deposição de polissacarídeos nas paredes celulares, e alterações na absorção e transporte de vários nutrientes, principalmente Ca, Mg e P (Furlani 1983). Ainda segundo Furlani (1983), os sintomas foliares da fitotoxicidade do Al são geralmente confundi-

¹ Aceito para publicação em 26 de julho de 1991

² Eng.-Agr., M.Sc., UFRPE, Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Carpina, Caixa Postal 40, CEP 55810, Carpina, PE.

dos com os de deficiência de P e Ca, sendo que as raízes submetidas ao meio com excesso de Al apresentam-se curtas e engrossadas, quebradiças e com coloração anormal, geralmente com manchas escuras. A área mais afetada são as extremidades das raízes, e, de um modo geral, ocorre uma ausência de ramificações finais, o que contribui para uma menor área superficial do sistema radicular; tal fato desfavorece um maior aproveitamento da planta na absorção de água e nutrientes.

Malavolta (1985) admite que há, em princípio, dois enfoques destinados ao controle da toxidez do Al: a adaptação da planta ao solo e a adaptação do solo à planta. O primeiro caso consiste em explorar a tolerância de espécies e variedades às condições de acidez. No segundo caso, faz-se a neutralização da acidez através da calagem mediante o uso de corretivos. No que diz respeito à tolerância à toxidez de Al, Evans & Kamprath (1970), Kamprath (1967) e Spain (1968) têm demonstrado que diferenças consistentes na tolerância ao Al são encontradas entre espécies de plantas e cultivares da mesma espécie. Em relação à cana-de-açúcar, existe certa unanimidade, na maioria dos trabalhos consultados, em admitir que esta gramínea não é tão sensível à acidez do solo como outras espécies vegetais (Araújo Filho et al. 1980, Ayres et al. 1965, Marinho et al. 1980, Viana et al. 1983). Segundo relatos de Clark & Brown, Furlani e Camargo, todos citados por Malavolta (1985), a tolerância à toxidez de Al é quantitativa, tem alta herdabilidade e mostra predominância da ação aditiva dos genes.

Na região canavieira do Nordeste do Brasil, a calagem pode ser utilizada tanto nas áreas tradicionais onde predominam os solos de textura argilosa com teores de Al trocável em nível tóxicos, como nas áreas de expansão de cana basicamente estabelecidas em solos arenosos de "tabuleiro", quase sempre apresentando baixos teores de Ca e Mg.

Alguns autores admitem que, tomando-se o Al em relação às bases trocáveis do solo, obtém-se melhor índice no processo de avaliação das necessidades de calagem pelas cul-

turas (Lathwell 1979, Evans & Kamprath 1970, Sartain & Kamprath 1975 e Abruña et al. 1975). Zambello Júnior et al. (1984) admitem que para solos ácidos que apresentam Al trocável, a CTC efetiva pode ser estimada como a soma das bases (Ca + Mg), adicionando-se o Al extraído por solução de sal neutro não tamponada. Estabelecem, os autores, que a saturação de Al pode ser calculada pela expressão $100 \times \text{Al}/(\text{Al} + \text{Ca} + \text{Mg})$. O mesmo procedimento foi utilizado por Marinho et al. (1981) na cultura da cana-de-açúcar.

O presente trabalho teve por objetivo estabelecer os graus de toxidez do Al na forma trocável, através da sua porcentagem de saturação ($\text{Al} \times 100/(\text{Al} + \text{S})$) para a cultura da cana-de-açúcar.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados resultados de ensaios experimentais de campo conduzidos em solos tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura argilosa, Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa, e Podzólico Vermelho-Amarelo latossólico textura média, no estado de Pernambuco, com esquemas experimentais em blocos ao acaso compostos basicamente de dois tipos, a saber: a) esquema experimental utilizando-se doses de calcário dolomítico (0, 1, 2, 3 e 4 t/ha) incorporado ao solo, num total de dez ensaios, e b) esquema experimental com cinco níveis de calcário dolomítico aplicado no sulco de plantio (0,250, 500, 750 e 1.000/kg/ha) em quatro ensaios.

Em todos os casos, os ensaios eram compostos de parcelas com sete sulcos e espaçamentos de 1,30 m, sendo os sulcos centrais utilizados como área útil. A variedade CB45-3 foi utilizada como cana-semente em todos os ensaios, tendo em vista a sua alta participação na área plantada no Nordeste do Brasil. Todos os tratamentos de cada ensaio receberam uma dose fixa de N (60 kg/ha) e doses de P, K e micronutrientes em função dos seus teores no solo, nas formas de uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e sulfatos de cobre, zinco e manganês, respectivamente.

Os teores de Al⁺³ trocável foram determinados por titulação a partir do extrato KCl (relação solo: extrator = 1:10) utilizando-se uma solução de NaOH 0,025N. O Ca⁺² e Mg⁺² no mesmo extrato foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. O K foi extraído com

H₂SO₄ 0,025N + HCl 0,05N, na relação solo:solução de 1:10, e a determinação foi feita por fotometria de chama. No cálculo para obtenção do valor S, não foram incluídos os teores de Na, por serem desprezíveis. As relações entre o Al⁺³ trocável, saturação de Al e os valores de produção relativa foram calculados por regressão através de vários modelos matemáticos, escolhendo-se aquele que proporcionasse o melhor ajuste.

As produções relativas foram obtidas utilizando-se os tratamentos com a presença e ausência de calcário, estabelecendo-se a produção com calcário a partir da média do tratamento com maior produtividade agrícola nos ensaios com respostas significativas, e naqueles sem respostas significativas, a média dos tratamentos com calcário. Foram estabelecidas nos dois casos, quatro classes de toxidez do Al. Os limites dessas classes foram relacionados com produções relativas específicas, tal como a seguir: baixo (P.R. 70%); médio (P.R. = 70-85%); alto (P.R. = 85-100%); muito alto (P.R. 100).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as produções relativas obtidas pela relação entre as pro-

duções com e sem calagem, teores de Al trocável, valores de S, valores de saturação de Al (m%), significância estatística pelo teste F e coeficiente de variação de todos os ensaios que forneceram os dados para a realização desse estudo. Os valores das variáveis independentes (Al⁺³ e m) têm uma boa distribuição no que diz respeito à amplitude dos seus valores, o que permitiu uma caracterização mais segura dos diferentes graus de sua interação com a produtividade da cana-de-açúcar. Outro aspecto, que se visualiza nos resultados encontrados, é que a participação da soma de bases no estabelecimento de um parâmetro indicador da ação tóxica do Al proporcionou interação mais definida com a produção. Este aspecto pode ser bem entendido se nos detivermos nos resultados dos ensaios de números 6 e 9, onde os teores de Al⁺³ eram exatamente iguais e proporcionaram produções relativas diferentes; no entanto, quando são observados os valores de S, e, por extensão, os percentuais da saturação de Al, tornam-se evidente as diferenças ocorridas que no caso presente

TABELA 1 - Valores da produção relativa (PR), alumínio trocável (Al⁺²), soma de bases (S), saturação de alumínio (m), teste F e coeficiente de variação dos ensaios.

Ensaio	PR ¹	Al ⁺³	S ²	m	teste F ³	C. V.
	%	meq/100 g		%		%
1	103	0,7		22	n.s.	14,65
2	106	0,5		18	n.s.	9,36
3	64	2,0		66	*	10,01
4	60	1,4		63	*	12,27
5	114	0,1		6	n.s.	10,32
6	90	0,8		25	n.s.	12,07
7	104	0,1		6	n.s.	11,17
8	73	1,2		44	*	15,12
9	76	0,8		38	*	6,79
10	62	1,6		57	*	14,27
11	82	1,0		41	*	8,26
12	124	0,3		6	n.s.	9,87
13	51	1,7		56	**	9,47
14	56	1,4		58	**	13,21

¹PR = (produção sem calcário/produção com calcário). 100;

²S = (Ca + Mg + K)

³ Níveis de significância estatística = * 5% e ** 1%

foram explicadas pelo índice "m" e não pelo teor de Al^{+3} .

A Fig. 1 indica a relação entre o Al trocável do solo, expresso em meq/100 g e as produções relativas de cana, referentes aos 14 ensaios de campo desenvolvidos no estado de Pernambuco.

A partir da equação $1/y = 7.6710.10^{-3} + 5.3875 \times .10^{-3}$ ($R=0,88$) e considerando-se os valores de produção relativa de 70%, 85% e 100%, obtiveram-se, respectivamente, os seguintes graus de toxidez do solo, relacionados com o Al trocável, expresso em meq/100 g solo; muito alto - teores de Al^{+3} superiores a 1,2; alto - teores de Al^{+3} entre 0,8 e 1,2; médio - teores de Al^{+3} entre 0,4 e 0,8, e baixo, para teores de Al^{+3} inferiores a 0,4.

Os níveis de Al^{+3} que compõem os diversos graus de toxidez obtidos neste trabalho são de valores inferiores, principalmente nas faixas de maior toxidez, aos propostos por Marinho et al. (1981) e Zambello Júnior et al. (1984).

Considerando-se uma produção relativa de 90% como índice para determinação do nível crítico, chega-se ao valor de 0,6 meq/100 g solo, um pouco inferior aos níveis críticos determinados por Marinho et al. (1981) e Zambello Júnior et al. (1984), respectivamente 0,9 e 1,0 meq Al^{+3} /100 g solo. Cordeiro (1978),

em extensa revisão bibliográfica sobre os indicadores da necessidade de calagem em diferentes regiões canaveiras do mundo, relata inúmeros resultados contraditórios que, segundo o autor, estariam ligados às escolhas dos métodos indicadores da sua necessidade.

Marinho & Araújo Filho (1983) recomendam a utilização dos valores de Al trocável, Ca e Mg para melhor previsão da necessidade de calagem na cana-de-açúcar. A Fig. 2 revela as relações entre a porcentagem de saturação de Al ($Al^{+3}.100/Al^{+3} + S$) e as produções relativas de cana-de-açúcar.

A partir dos valores de produção relativa de 70, 85 e 100% e utilizando-se a equação $1/y = 7,0869.10^{-3} + 1,5846 \cdot x \cdot 10^{-4}$ ($R=0,92$), obtêm-se os seguintes graus de toxidez do solo, em relação à porcentagem de saturação de Al para a cana-de-açúcar: baixo (< 18); médio (18 - 39); alto (30 - 45) e muito alto (> 45). O coeficiente de correlação superior ao obtido pelo Al^{+3} indica ter sido a saturação de Al melhor relacionada com a produção relativa de cana. O nível crítico da porcentagem de saturação obtido nesse estudo foi de 25% para uma produção relativa de 90%. Zambello Júnior et al. (1984) obtiveram um nível crítico de 40% para a saturação de Al em cana-de-açúcar cultivada no estado de São

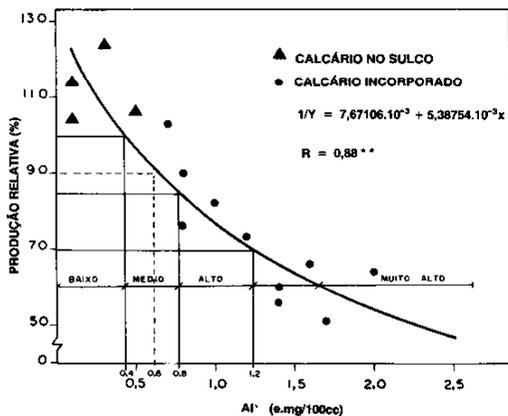


FIG. 1. Relação entre a produção relativa da cana-planta e os teores de alumínio trocável no solo.

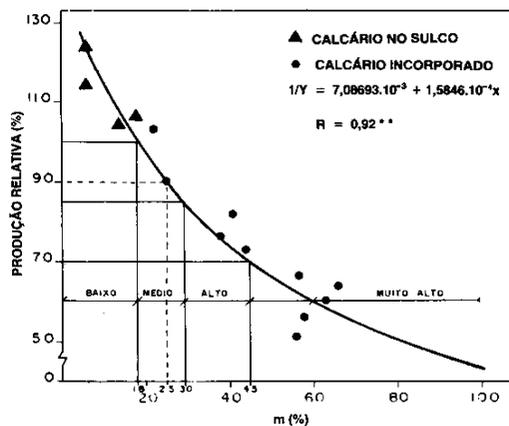


FIG. 2. Relação entre a produção da cana-planta e a saturação de alumínio.

Paulo. Peixoto (1980), trabalhando em ensaios de vasos com solos da região canavieira de Campos (RJ), verificou que um teor de 1,1 meq $Al^{+3}/100$ g de solo só se mostrava prejudicial à cana se a saturação de Al estivesse acima de 18%.

No Havaf, Ayres (1961) obteve resultados onde 6 meq $Al^{+3}/100$ g solo não induziu a efeitos negativos na produção de cana, com a saturação de Al não ultrapassando 22%. O uso da saturação de Al como índice de avaliação das necessidades de calagem poderá proporcionar maiores facilidades na definição do uso dessa prática.

CONCLUSÕES

1. Foi possível estabelecer graus de toxidez proporcionados pelo Al trocável e por sua saturação "m", da seguinte forma: Al^{+3} (meq/100 g); baixo (< 0,4); médio (0,4 - 0,8); alto (0,8 - 1,2) e muito alto (> 1,2). m(%); baixa (< 18); média (18 - 30); alta (30 - 45) e muito alta (> 45).

2. Os níveis críticos obtidos foram de 0,6 (meq/100 g e 25% para o Al^{+3} (meq/100 g) e o valor "m" (%) respectivamente, observando-se valores inferiores aos obtidos em outras regiões canavieiras.

3. O índice da saturação de Al proporcionou um melhor ajuste, o que indica ser ele um parâmetro melhor adequado para exprimir a toxidez aluminica no solo.

REFERÊNCIAS

ABRUÑA, F.; PEARSON, R. W.; PEREZ ESCOBAR, R. Respuesta del maíz y del frijol al encañamiento en oxisoles y ultisoles of Puerto Rico. In: BORNEMISA, E.; ALVARADO, A. **Manejo de Suelos en la América Tropical**. Raleigh: University Consortium on Soils of the Tropics, 1975. p.267-286.

ARAÚJO FILHO, J. T.; MARINHO, M. L.; CAVALCANTE, G. A. C. **Comportamento da soja (*Glycine* sp.) sob diferentes teores de alumínio no solo em casa de vegetação**. Rio Largo: IAA/PLANALSUCAR. COONE,

1980. Trabalho apresentado na Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 14, Cuiabá, 1980.

AYRES, A. S. Liming Hawaiian Sugarcane Soils. **Hawaii Plant Record**, Honolulu, v.56, p.227-244, 1961.

AYRES, A. S.; HAGIHARA, H. H.; STANFORD, G. Significance of extractable aluminum in Hawaiian sugar soils. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v.29, p.387-392, 1965.

BEAR, F. E. **Chemistry of the soil**. 2.ed. New York: Reinhold Publishing, 1964. 515p.

COLEMAN, N. T.; THOMAS, G. W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R. W.; ADAMS, F. (Eds.) **Soil Acidity and Liming**. Madison: Am. Soc. of Agronomy, 1967. Cap.1, p.1-14.

CORDEIRO, D. A. **Efeitos da calagem e da adubação potássica sobre a produção de colmos e o equilíbrio nutricional da cana-de-açúcar**. (*Saccharum* sp.). Piracicaba: ESALQ, 1978. 59p. Tese de Mestrado.

EVANS, E. E.; KAMPRATH, E. J. Lime response as relates to percent Al saturation, solution Al and organic matter content. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.34, p.893-896, 1970.

FRIED, M.; PEECH, M. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. **Journal American Society of Agronomy**, v.38, p.614-623, 1946.

FURLANI, P. R. Toxicidade de alumínio e manganês em plantas. In: RAIJ, B. Van.; BATALIA, O. C.; SILVA, N. M. (Coord.) **Acidez e calagem no Brasil**. Campinas: Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, 1983. p.78-86.

GILBERT, B. E.; PEMBER, F. R. Further evidence concerning the toxic action of aluminum. **Soil Science**, Baltimore, v.31, p.267-273, 1930.

KAMPRATH, E. J. **A acidez do solo e a calagem**. Raleigh: Caroline State University, 1967. (Bol. Técnico, 4).

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. **Soil Science Society of America Proceedings**. Madison, v.34, p.252-254, 1970.

LATHWELL, D. J. **Crop response to liming of ultisols and oxisols, on acid tropical soils**.

- Ithaca: Cornell International Agriculture, 1979. 36p. (Bull., 35).
- MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS. 1984, Piracicaba. Campinas: Fundação Cargill, 1985, p.3-64.
- MARINHO, M. L.; ALBUQUERQUE, G. A. C.; ARAÚJO, J. T. **Relação entre a saturação de alumínio do solo ($Al^{+3}/Al^{+3} + Ca^{+2} + Mg^{+2}$). 100 e a produção de cana-de-açúcar em Alagoas.** Maceió: IAA/PLANAL-SUCAR. COONE, 1981. 17p.
- MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J. T. Calibração do alumínio no solo para cana-de-açúcar em Alagoas. *Saccharum*, São Paulo, v.6, n.26, p.18-23, maio/junho, 1983.
- MARINHO, M. L.; ARAÚJO FILHO, J. T.; MENEZES, C. R. L. **Comportamento da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) sobre diferentes teores de alumínio no solo em casa de vegetação.** Rio Largo: IAA/PLANAL-SUCAR. COONE, 1980. 5p. Trabalho apresentado na Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, 14, Cuiabá, 1980.
- PEIXOTO, A. A. **Efeitos do cálcio, magnésio e potássio e suas relações na produção de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) em um solo Gley pouco húmico do Norte Fluminense.** Viçosa: UFV, 1980. 48p. Tese de Mestrado.
- SARTAIN, J. B.; KAMPRATH, E. J. Effect of liming a highly Al saturate soil on the top and root growth and soybean nodulation. *Agronomy Journal*, Madison, v.67, p.507-510, 1975.
- SPAIN, J. M. Field studies on tolerance of plant species and cultivar to acid soil conditions in Colombia. In: WRIGHT, M. J. (Ed.) **Plant adaptation to mineral stress in problem soils.** New York: Cornell University, 1968. p.213-222.
- VIANA, A. R.; ANDRADE, L. A. B.; JUNQUEIRA NETO, A. Efeito da calagem e tolerância a acidez em cem cultivares de cana-de-açúcar: Estudo preliminar. *Ciência e Prática*, Lavras, v.7, n.2, p.205-215, Jul./dez. 1983.
- ZAMBELLO JÚNIOR, E.; ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Aluminum toxicity classification of soils in Brazil. *Sugar Cane*, England, n.5, p.10-12, Sept/Oct. 1984.