

# EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO DA SOJA<sup>1</sup>

ARISTÉA ALVES AZEVEDO<sup>2</sup> e MARCO ANTONIO OLIVA<sup>3</sup>

**RESUMO** - Estudou-se a influência do alumínio sobre o desenvolvimento e o teor de alguns nutrientes em soja (*Glycine max* (L.) Merrill), procurando-se determinar alguma possível diferença na tolerância a este cátion entre as cultivares IAC-5 e Santa Rosa. Plântulas com dez dias de idade foram submetidas a 0, 4, 8, 10 e 12 ppm de Al em solução nutritiva. Após 35 dias de cultivo, coletou-se o sistema radicular, o caule e as folhas, para a determinação do peso da matéria seca e dos teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Al. A parte aérea de ambas as cultivares mostrou-se mais sensível ao Al que o sistema radicular. A cultivar IAC-5 acumulou mais matéria seca que a Santa Rosa no sistema radicular em relação à parte aérea; no entanto, as duas cultivares apresentaram respostas semelhantes, ao Al. Este cátion alterou significativamente a composição mineral das plantas, reduzindo, de maneira acentuada, o teor de Ca na parte aérea, e o de P e Mg, tanto na parte aérea como no sistema radicular. Observou-se um acúmulo de Al no sistema radicular; apenas uma pequena quantidade deste elemento foi translocada para a parte aérea. Os efeitos do Al foram pouco acentuados sobre o teor de K, mas evidenciaram-se sobre a distribuição de N, que se acumulou no caule, e sobre o teor de Fe. Em presença do Al, as duas cultivares estudadas não apresentaram diferenças marcantes, quanto à eficiência nutricional, e portanto não se justifica enquadrá-las em faixas distintas de tolerância.

**Termos para indexação:** *Glycine max*, toxicidade do Al, nutrição mineral.

## EFFECT OF ALUMINUM ON PRODUCTIVITY AND MINERAL ELEMENTS IN SOYBEAN

**ABSTRACT** - This paper deals with the effects of Al on the growth and mineral content in Santa Rosa and IAC-5 soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. Ten day old seedlings were grown for an additional period of 35 days in a nutrient solution containing 0, 4, 8, 10 e 12 ppm of Al. Root, stem and leaf dry weights were obtained and samples analysed for N, P, K, Ca, Mg, Fe and Al content. Shoots were more sensitive to Al than roots in both cultivars. Although roots showed growth inhibition and morphological abnormalities, no drastic dry weight reduction was observed, as observed for the shoots. Cultivar IAC-5 showed a higher root dry matter accumulation than that of S. Rosa, but shoot dry weights were similar in both cultivars. Al caused a significant alteration in the plant mineral composition drastically reducing Ca content in the shoots. Reduction in P and Mg content was observed in both shoots and roots. The highest Al accumulation occurred in the root system, and a small amount was translocated to stems and leaves. Al effects in the K content were not so evident; although, it had an influence on N content in shoots and Fe content in shoots and roots. The responses to Al were not significant enough to classify the two cultivars under distinct groups of tolerance.

**Index terms:** *Glycine max*, Al toxicity, mineral nutrition.

## INTRODUÇÃO

A acidez do solo é um fator limitante para o crescimento das plantas em muitos solos de regiões tropicais e subtropicais (Kamprath 1978), incluindo os solos sob vegetação de cerrado (Goodland 1971). A baixa fertilidade dos solos de cerrado se deve a um conjunto de fatores, entre os quais se destaca a presença de Al, em níveis tóxicos para a maioria das plantas de interesse econômico (Olimos & Camargo 1976). Este é um fator básico a ser considerado na expansão da produção agrícola brasileira, no que diz respeito ao incremento da produtividade e ao aumento das áreas cultivadas. A correção da acidez do

solo pela calagem, além de apresentar limitações de ordem econômica, não resolve satisfatoriamente o problema da toxidez do Al, pois atinge apenas as camadas superficiais do solo, restringindo o aprofundamento das raízes e, em consequência, a exploração dos recursos hídricos e minerais pelas plantas (Foy et al. 1967).

Uma alternativa adequada para o aproveitamento dos solos ácidos é a utilização de plantas tolerantes ao Al. Em soja, o melhoramento genético visando esta tolerância é perfeitamente viável, pois estudos comparativos de cultivares têm mostrado diferenças marcantes nas respostas ao Al (Armiger et al. 1968, Foy et al. 1969). Entretanto, no que se refere às cultivares utilizadas no Brasil, ainda são poucos os dados disponíveis (Coutinho et al. 1971, Muzilli et al. 1978). Este fato motivou a presente pesquisa, cujo objetivo foi verificar o efeito do Al sobre o desen-

<sup>1</sup> Aceito para publicação 20 de junho de 1989.

<sup>2</sup> Biol., M.Sc., Prof., Univ. Fed. de Viçosa, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>3</sup> Biol., Dr. Rer. nat., Prof., Univ. Fed. de Viçosa.

volvimento e a composição mineral de duas cultivares de soja, procurando determinar possível diferença na tolerância ao cátion.

#### MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivares Santa Rosa e IAC-5, que inicialmente foram colocadas para germinar em areia lavada. Decorridos dez dias após a semeadura, as plântulas foram selecionadas por uniformidade de tamanho e transferidas para solução nutritiva com diferentes níveis de Al e sob aeração. As plântulas foram colocadas em frascos de polietileno, com capacidade para dois litros, contendo solução nutritiva recomendada por Steinberg (1953), modificada por Foy et al. (1967) e submetidas a níveis de 0,0; 4,0; 8,0; 10,0 e 12,0 ppm de Al, através da adição de  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18 H_2O$  na solução, ajustando-se o pH para 4,6.

O experimento foi realizado em casa de vegetação localizada no campus da Universidade de São Paulo, no período de dezembro a janeiro. Durante este período, a temperatura da casa de vegetação oscilou entre 38°C e 14°C.

Após 35 dias de cultivo, em solução nutritiva, três plantas de cada frasco foram coletadas e divididas em amostras, correspondentes ao sistema radicular, caule e folhas. O peso da matéria seca das três partes das plantas foi determinado após secagem em estufa a 80°C, por 48 horas. As raízes foram lavadas em água deionizada, antes da secagem.

Os teores de N foram avaliados pelo método semi-micro Kjeldal (Bremner 1963), a partir de 10 mg de amostra seca.

Para análise do P, K, Ca, Mg, Fe e Al, 750 mg de matéria seca das amostras de caules e folhas e 250 mg de amostras de raízes foram submetidas à digestão nitroperclórica (Jørgensen 1977).

Os teores de Ca, K, Mg e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo os três primeiros elementos em sistema de injeção em fluxo contínuo (Zagatto et al. 1979).

Para análise do P, K, Ca, Mg, Fe e Al, 750 mg de matéria seca das amostras de caules e folhas e 250 mg de amostras de raízes foram submetidos à digestão nitroperclórica (Jørgensen 1977).

Os teores de Ca, K, Mg e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, sendo os três primeiros elementos em sistema de injeção em fluxo contínuo (Zagatto et al. 1979).

O Al e o P foram determinados por espectrofotometria, empregando-se eriocromo cianina R (Reis et al. 1979) e azul de molibdênio (Bergamin Filho 1978), respectivamente, em sistema de injeção em fluxo contínuo.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com as parcelas subdivididas, com dez tratamentos constituídos pela combinação de duas cultivares de soja nas parcelas e cinco níveis de Al nas subparcelas, com seis repetições. Cada subparcela era representada por três plantas por frasco. Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando-se o teste F (Steel & Torrie 1960) para comparação das duas cultivares, dentro de um mesmo nível de Al.

#### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Sintomas típicos da toxicidade do Al (Foy & Brown 1963) manifestaram-se no sistema radicular

das duas cultivares. Todavia, nas concentrações mais elevadas de Al na solução, estes sintomas foram mais severos na cultivar Santa Rosa, afetando o peso seco das raízes (Fig. 1 e Tabela 1).

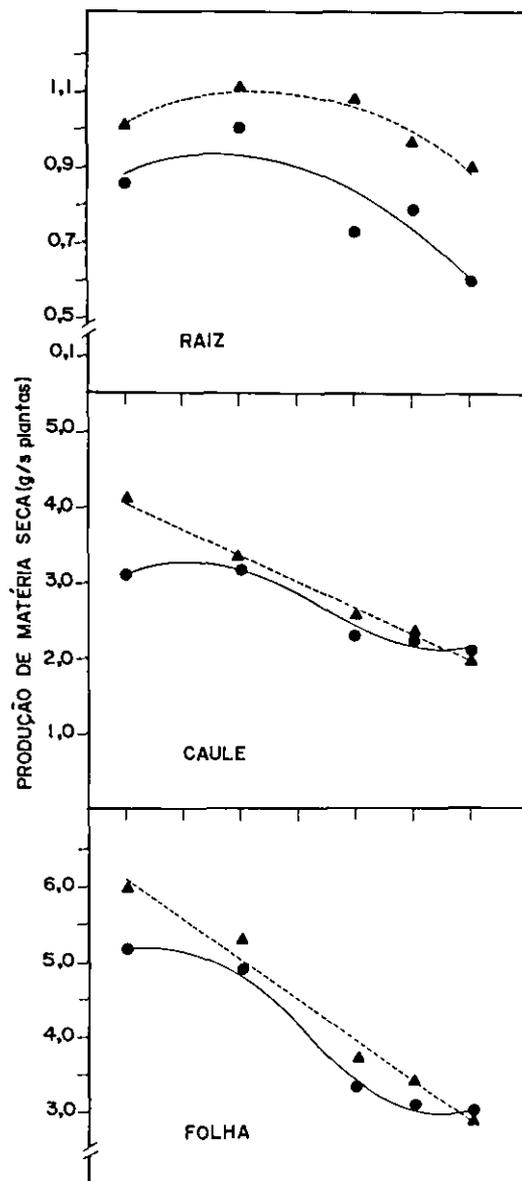


FIG. 1. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e a produção de matéria seca do sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5), 45 dias após a semeadura.

**TABELA 1.** Efeito de 12 ppm de Al, em solução nutritiva, sobre a produção de matéria seca e os teores de N, P, K, Ca, Mg, Fe e Al no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (Santa Rosa - SR e IAC-5), em comparação percentual à testemunha.

	Raiz		Caule		Folha	
	SR	IAC-5	SR	IAC-5	SR	IAC-5
Matéria seca	71	89	68	48	38	48
N	108	121	150	208	60	72
P	64	45	18	20	27	30
K	142	175	61	70	123	134
Ca	78	105	39	60	25	39
Mg	7	24	35	48	56	59
Fe	57	75	64	61	58	53
Al	5789	5780	2964	6760	152	106

A parte aérea foi mais sensível à toxicidade do Al que o sistema radicular, em ambas as cultivars (Fig. 1). As diferenças no acúmulo de matéria seca da parte aérea foram significativas apenas na ausência de Al, tendo a cultivar IAC-5 acumulado mais matéria seca que a Santa Rosa. Verifica-se, portanto, que, na presença de Al, as diferenças na produção de matéria seca, entre as cultivares, evidenciaram-se mais acentuadamente no sistema radicular. Segundo Foy et al. (1969), cultivares de soja tolerantes ao Al apresentam mais matéria seca em suas raízes que as sensíveis, como ocorreu com IAC-5 em relação à Santa Rosa.

A cultivar Santa Rosa acumulou significativamente mais Al nas raízes que a IAC-5, quando cultivada com 10 a 12 ppm deste cátion na solução nutritiva (Fig. 2). Nas raízes, o Al pode estar associado às paredes celulares (Clarkson 1967), tendo sido localizado na coifa, na epiderme e no córtex (McCormick & Borden 1972 e 1974). É possível que o Al tenha induzido a formação de um excesso de pectinas nas parcelas das células da raiz (Ruschel et al. 1968), implicando um número maior de sítios de absorção e maior quantidade de Al retido.

Pode-se observar que apenas uma pequena quantidade de Al foi translocada para a parte aérea (Fig. 2), e a cultivar IAC-5 apresentou teor mais elevado de Al em suas folhas. Na soja, a concentração de Al, na parte aérea e no sistema radicular, não tem correlação com o grau de tolerância da planta a este elemento (Sartain & Kamprath 1978). Entretanto, cultivares que crescem bem em solos ou em soluções com níveis tóxicos de Al apresentam concentrações inferiores deste cátion nas raízes (Foy et al. 1969),

quando comparadas com cultivares sensíveis, como ocorreu com IAC-5.

O menor acúmulo de matéria seca na parte aérea foi induzido pelo efeito marcante de Al sobre a absorção e translocação de nutrientes (Tabela 1).

O Al alterou significativamente a composição mineral das plantas, sendo os efeitos mais severos observados sobre o teor de Al na parte aérea, e os de P e Mg, tanto na parte aérea como no sistema radicular (Tabela 1). Em ambas as cultivares, foram observadas, na parte aérea, manchas cloróticas intervenais que se assemelham aos sintomas de deficiência de P, descritos por Rosolem (1980).

Na Tabela 1 verifica-se que a absorção e, em menor grau, a translocação de Ca, foram afetadas pelo Al, à semelhança de resultados obtidos por Johnson & Jackson (1964) e Maclean & Chiasson (1966).

No sistema radicular da cultivar Santa Rosa, o teor de Ca praticamente não se alterou com 4 ou 8 ppm de Al na solução nutritiva, tendendo a declinar ligeiramente nos níveis mais elevados (Fig. 3). Já na cultivar IAC-5, o teor de Ca foi superior ao encontrado na ausência de Al, a partir deste cátion em solução. Em todos os tratamentos, as diferenças entre as duas cultivares foram significativas ( $P > 0,5\%$ ).

Com o aumento de Al na solução nutritiva, o teor de Ca no caule diminuiu mais acentuadamente na cultivar Santa Rosa, enquanto nas folhas a redução no teor de Ca foi maior em IAC-5 (Fig. 3).

De acordo com Nelson & Barber (1964), plantas de soja com menos de 0,8% de Ca em sua parte aérea apresentam problemas de deficiência. Tanto na cultivar Santa Rosa quanto na IAC-5, foram cons-

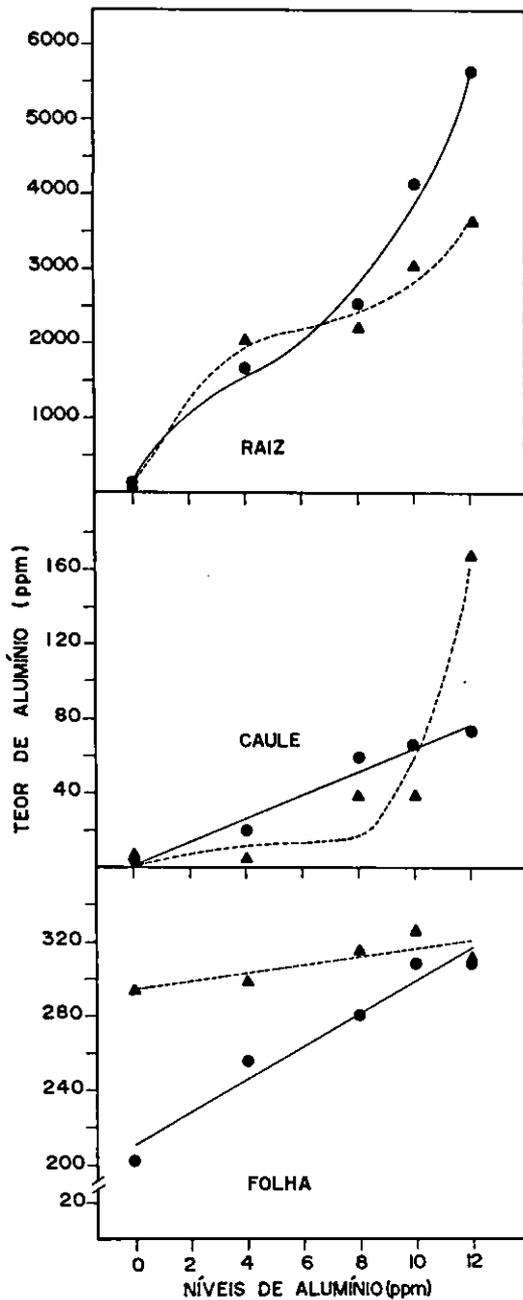


FIG. 2. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor deste mesmo elemento no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5), 45 dias após a semeadura.

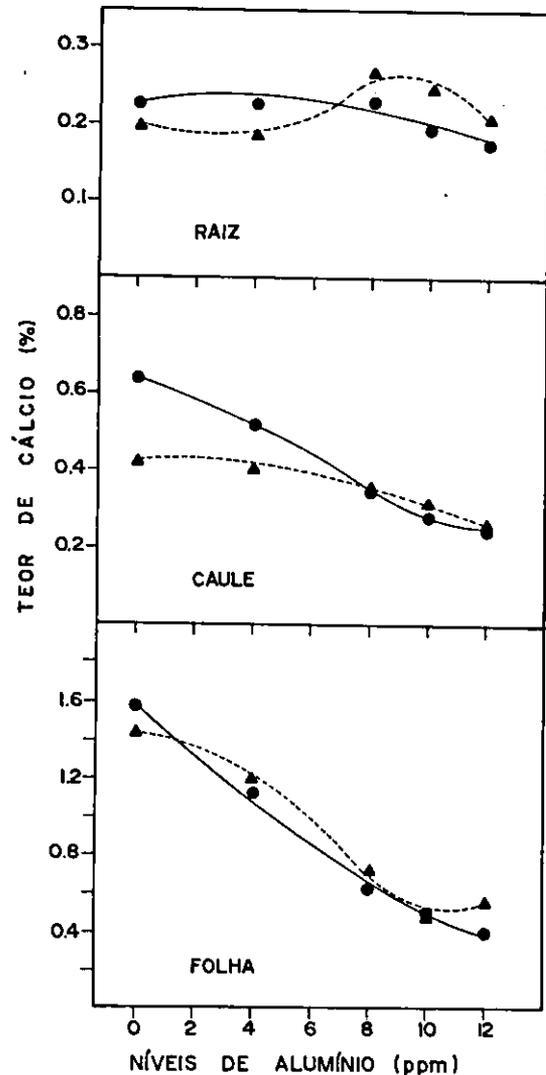


FIG. 3. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de Ca no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5), 45 dias após a semeadura.

tatados teores de Ca abaixo de 0,8% nos tratamentos com 8, 10 e 12 ppm de Al, sem contudo, ocorrer a manifestação de sintomas típicos da deficiência de Ca. Foy et al. (1969) apresentaram evidências de que a deficiência de Ca induzida pelo Al difere da deficiência absoluta e deve ser resultado da interferência do Al sobre a absorção e também sobre a translocação de Ca, até os sítios onde é exigido para um metabolismo normal.

O Al parece reduzir a quantidade de Ca associado ao espaço livre e também ao seu movimento através do plasmalema (Clarkson & Sanderson 1971). O papel do Ca na manutenção da estrutura e no funcionamento das membranas (Clarkson & Hanson 1980) sugere a possibilidade de que o dano provocado pelo Al resulte da substituição do Ca por este elemento no plasmalema, alterando a configuração estrutural e decrescendo a permeabilidade para determinados íons (Lance & Pearson 1969).

Em cultivares de soja, a tolerância ao Al está estreitamente correlacionada à capacidade de absorver e transportar Ca (Foy et al. 1969). O Al reduz mais intensamente a concentração de Ca, no sistema radicular e na parte aérea, da cultivar sensível, quando comparada à cultivar tolerante. Das cultivares estudadas, as maiores reduções no teor de Ca, tanto na parte aérea como no sistema radicular, ocorreram na cultivar Santa Rosa (Fig. 3).

De todos os nutrientes estudados, o teor de Mg nas raízes foi o mais severamente afetado, diminuindo para 6,9% e 23,8% do valor constatado no tratamento sem Al, respectivamente, na cultivar Santa Rosa e na IAC-5 (Tabela 1). A parte aérea foi menos afetada que o sistema radicular (Fig. 4), embora tenha também ocorrido decréscimo considerável no teor de Mg. Os sintomas observados nas folhas podem ter sido resultado da interação da deficiência de P e de Mg. Reduções no teor de Mg em função de níveis crescentes de Al já foram relatados por Lee (1971) e Clark (1977).

Embora as folhas jovens não tenham apresentado sintomas típicos de deficiência de Fe, os baixos níveis deste elemento nas folhas, principalmente nos tratamentos com 8, 10 e 12 ppm de Al na solução (Fig. 5), podem também estar relacionados à baixa produtividade de matéria seca da parte aérea, dada a importância do Fe no desenvolvimento normal dos cloroplastos (Price 1968) e na síntese de clorofila (Clarkson & Hanson 1980).

O decréscimo no teor de Fe no sistema radicular e na parte aérea (Fig. 5) está, provavelmente, relacionado com o desenvolvimento anormal das raízes, provocado pelo Al, uma vez que a redução do  $Fe^{+3}$  precede a absorção e ocorre na epiderme, entre as regiões de alongamento e maturação (DeMooy et al. 1973), principalmente nas raízes laterais (Ambler et al. 1971). Assim, a habilidade das plantas em absorver Fe decresce, provavelmente, em virtude da má formação das raízes laterais e conseqüente baixa capacidade de reduzir a forma férrica para ferrosa.

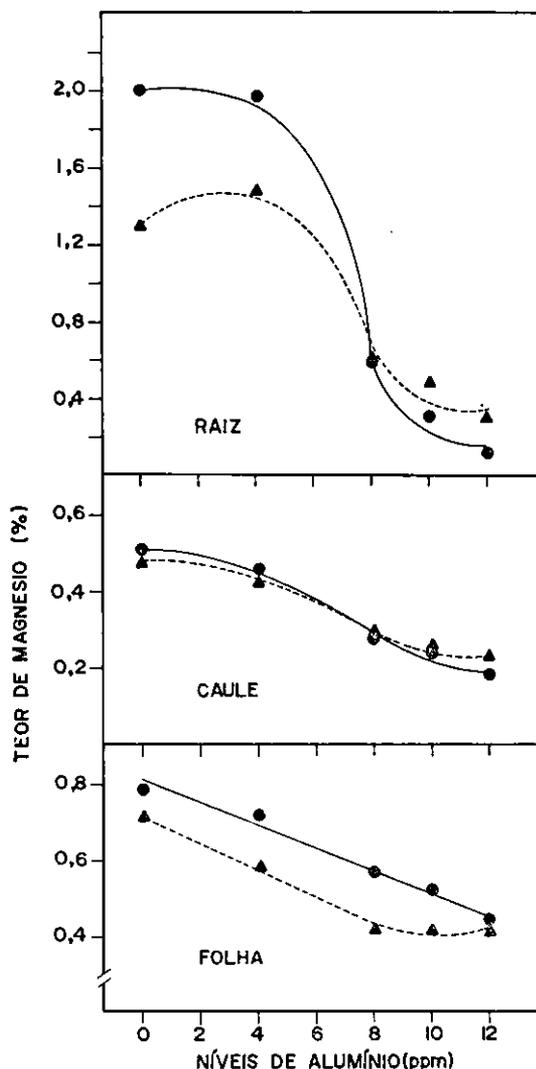


FIG. 4. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de Mg no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5), 45 dias após a semeadura.

A tendência de acumular K no sistema radicular e folhas foi verificada nas duas cultivares (Fig. 6 e Tabela 1), o que sugere um provável estímulo do Al sobre a absorção de K (Lee 1971). O acúmulo de K no sistema radicular, também observado por Macleod & Jackson (1965), foi mais marcante na cultivar IAC-5, embora na Santa Rosa, na ausência de Al, tenha ocorrido teor mais elevado deste cátion (Fig. 6).

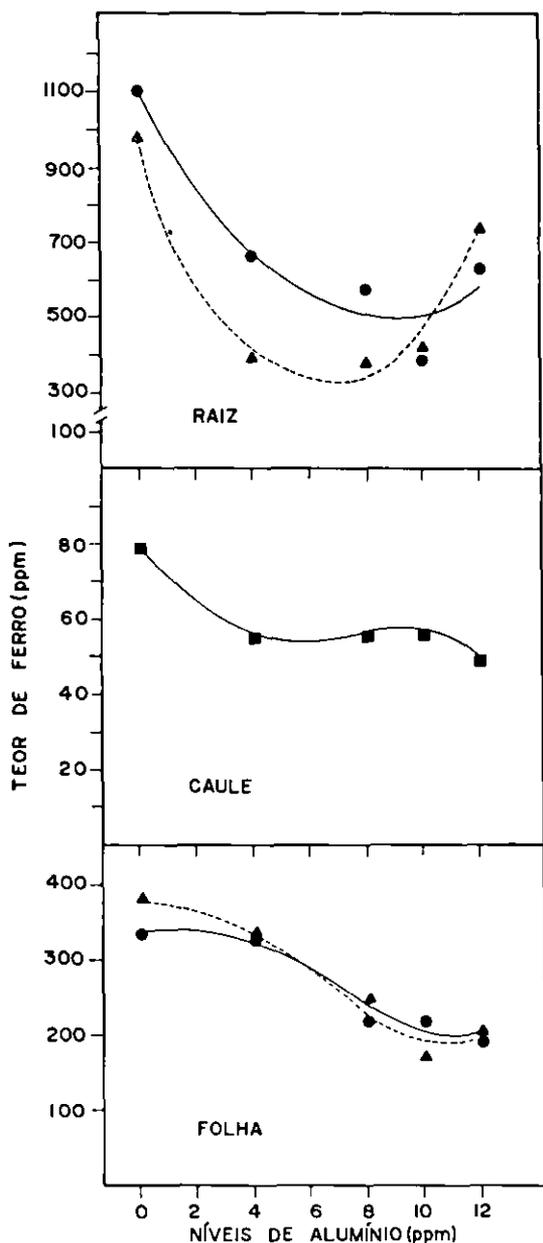


FIG. 5. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de Fe no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5; S. Rosa e IAC), 45 dias após a semeadura.

No caule, verificou-se redução no teor de K a partir de 8 ppm de Al na solução nutritiva (Fig. 6),

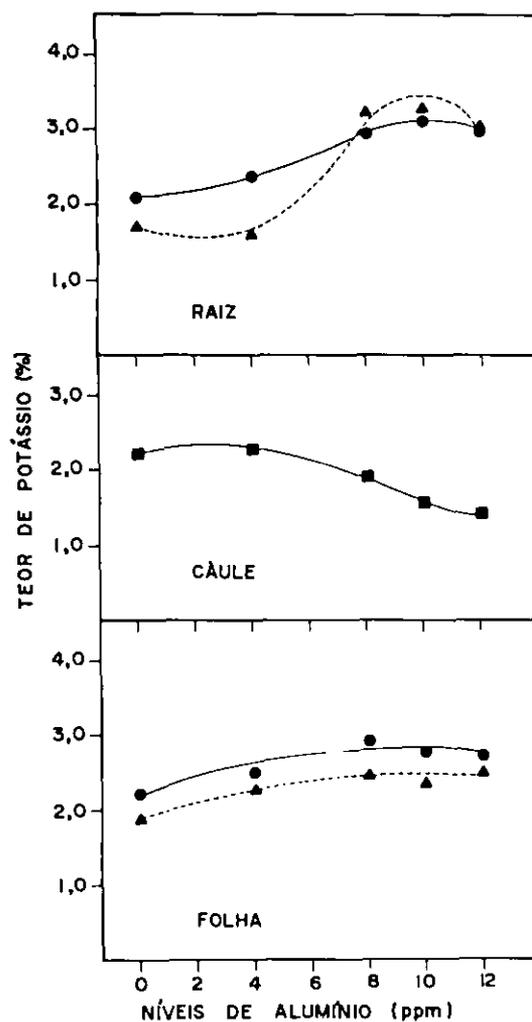


FIG. 6. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de K no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5; S. Rosa e IAC), 45 dias após a semeadura.

não havendo diferenças significativas entre as duas cultivares.

Nas folhas, a tendência foi de aumento progressivo na quantidade de K acumulada pelas duas cultivares. A cultivar Santa Rosa apresentou teor de K mais elevado que a IAC-5, nos tratamentos controle e com 8 e 10 ppm de Al.

Os dados da Fig. 7 e Tabela 1 sugerem que a interferência do Al predomina sobre a absorção do P, uma vez que a redução no teor deste elemento na

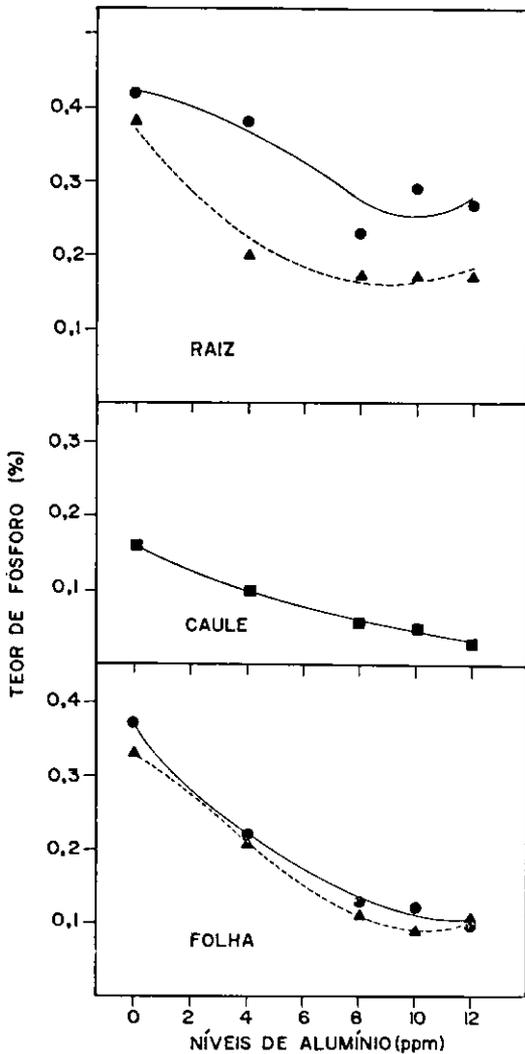


FIG. 7. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de P no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5; ■—■ S. Rosa e IAC-5), 45 dias após a semeadura.

parte aérea não resulta em acúmulo no sistema radicular, e o conteúdo do elemento diminui acentuadamente. Resultados semelhantes foram obtidos com diferentes cultivares de soja por Foy et al. (1969).

Na cultivar Santa Rosa, o sistema radicular apresentou maior teor de P que na IAC-5, em todos os níveis de Al. Em relação à parte aérea, houve diferença entre as cultivares apenas no tratamento com

10 ppm de Al, tendo as folhas da cultivar Santa Rosa teor mais elevado de P que as da IAC-5. Esta diferença de comportamento pode ser conseqüência de maior capacidade da cultivar Santa Rosa de absorver P, na presença de Al, e também conseqüência de problemas de translocação do fon. É provável que o fosfato tenha sido fixado através de reações de adsorção-precipitação na superfície ou no espaço livre aparente do sistema radicular (Clarkson 1967). Não pode ser excluída, também, a possibilidade de ter ocorrido precipitação do P, na forma de fosfato de alumínio, na solução nutritiva, com redução na disponibilidade deste elemento para absorção, uma vez que o teor de P nas duas cultivares tende a se estabilizar nos níveis mais elevados de Al.

Os mecanismos da ação do Al sobre a absorção de fosfato ainda não estão perfeitamente esclarecidos, mas parece que o Al pode reduzir a absorção, diminuindo a capacidade de associação do fosfato ao carregador, ou bloqueando a dissociação do complexo fon-carregador (Machado 1981). Outra possibilidade é que a absorção de fosfato e de outros fons seja reduzida em função de alterações na permeabilidade do plasmalema, provocadas pelo Al (Lance & Pearson 1969).

A Fig. 8 e a Tabela 1 mostram uma elevação no N total do caule, possivelmente correlacionada à deficiência de P, induzida pela toxicidade do Al. De acordo com Eaton (1950), plantas de soja deficientes em P acumulam compostos nitrogenados e carboidratos no caule. Pode-se observar que os efeitos mais notáveis da toxicidade do Al foram sobre a translocação de N (Fig. 8 e Tabela 1).

O aumento do teor de N verificado no caule foi causado, provavelmente pela mobilização e translocação de compostos nitrogenados das folhas mais velhas para regiões mais ativas no crescimento. Entretanto, como a toxicidade do Al diminuiu marcadamente o crescimento da parte aérea, a demanda de compostos nitrogenados pelas folhas jovens é, também, reduzida, concorrendo para a queda no N das folhas. As folhas mais velhas tiveram sua senescência antecipada com o aparecimento de sintomas de deficiência.

Para melhor interpretação desses resultados, serão necessárias pesquisas complementares no sentido de se identificar os compostos nitrogenados que se acumularam no caule, em resposta à toxicidade do Al.

A análise geral dos dados obtidos na ausência de Al revela, nas condições de cultivo utilizadas, uma maior eficiência no uso de minerais na cultivar IAC-5,

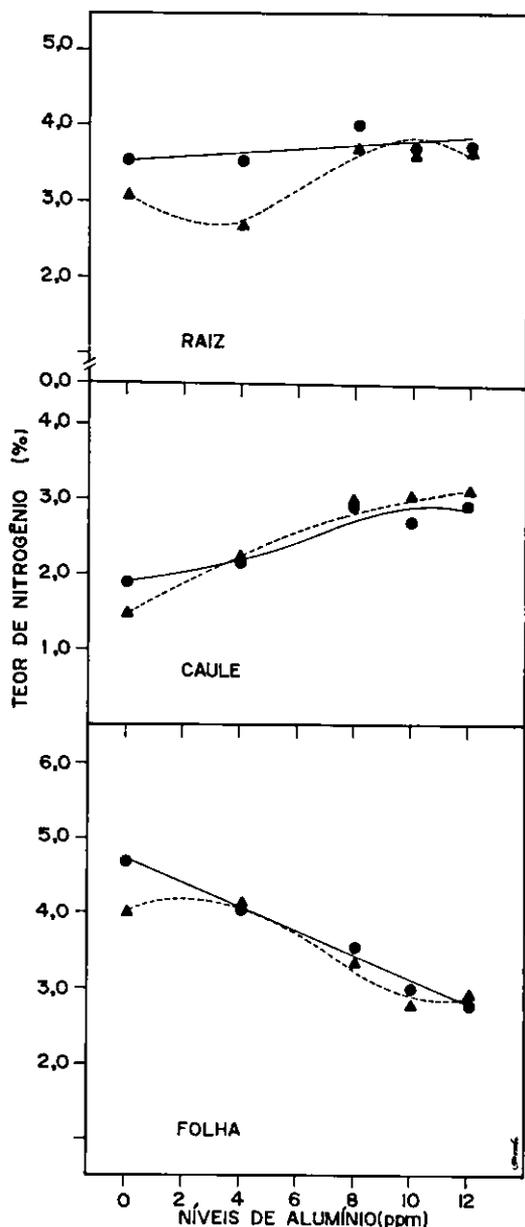


FIG. 8. Relação entre os níveis de Al na solução nutritiva e o teor de N no sistema radicular, caule e folhas de duas cultivares de soja (●—● S. Rosa; ▲---▲ IAC-5).

que, usando menores quantidades de nutrientes em comparação à cultivar Santa Rosa, produziu mais matéria seca, tanto no sistema radicular como na

parte aérea. Esta diferença talvez se deva a uma redistribuição de nutrientes mais adequada na planta, ou a exigências de pequenas quantidades de nutrientes em sítios funcionais (Clarkson & Hanson 1980).

Comparando-se os resultados das duas cultivares, na presença de Al, observa-se que a Santa Rosa apresentou, no sistema radicular, sintomas mais severos de toxicidade do cátion, menor produção de matéria seca, e maior acúmulo de Al que a IAC-5. Além disso, o teor de Ca, na parte aérea e no sistema radicular, sofreu maiores reduções. Apesar de, nestes aspectos, a cultivar Santa Rosa ter sido mais afetada pelo Al que a IAC-5, não foram observadas diferenças na produção de matéria seca da parte aérea entre as duas cultivares. Assim, as diferenças constatadas, embora significativas estatisticamente, são pequenas, em termos biológicos, e não justificam enquadrar as cultivares em faixas distintas de tolerância ao Al tóxico.

#### CONCLUSÕES

1. A produção de matéria seca e a composição mineral da parte aérea e do sistema radicular, das duas cultivares de soja estudadas, são afetadas significativamente pela presença de Al na solução nutritiva.
2. A translocação de Al, da raiz para a parte aérea, é maior na cultivar IAC-5 que na Santa Rosa, mesmo quando este íon é fornecido em baixas concentrações.
3. A toxicidade do Al altera marcadamente os teores de Ca, P e Mg na parte aérea. Entretanto, a redução no teor de Mg é muito mais acentuada no sistema radicular.

#### REFERÊNCIAS

- AMBLER, J.E.; BROWN, J.C.; GAUCH, H.G. Sites of iron reduction in soybean plants. *Agron. J.*, **63**:95-7, 1971.
- ARMIGER, W.H.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; CALDWELL, B.E. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.*, **60**:67-70, 1968.
- BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J.; REIS, B.R. Merging zones in flow injection analysis. Part 1. Double proportional injector and reagent consumption. *Anal. Chim. Acta.*, **101**:17-23, 1978.
- BERMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A. ed. **Methods of soil analysis. Part 2: Chemical and microbiological properties**. Madison, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1963. p.1149-78.

- CLARK, R.B. Effect of aluminium on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant Soil*, **47**:633-62, 1977.
- CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces and cell wall materials. *Plant Soil*, **27**:347-56, 1967.
- CLARKSON, D.T. & HANSON, J.B. The mineral nutrition of higher plants. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **31**:239-98, 1980.
- CLARKSON, D.T. & SANDERSON, J. Inhibition of the uptake and long-distance transport of calcium by aluminium and other polyvalent cations. *J. Exp. Bot.*, **22**:837-51, 1971.
- COUTINHO, C.; FREIRE, J.R.J.; VIDOR, C. Comportamento de variedades de soja em relação à toxidez de Al e Mn de solo ácido do Rio Grande do Sul. *Agron. sulriogr.*, **7**:133-41, 1971.
- DeMOOY, C.J.; PESEK, J.; SPALDON, E. Mineral nutrition. In: CALDWELL, B.E. ed. *Soybeans: improvement, production and uses*. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy, Inc., Publisher, 1973. p.267-352.
- EATON, S.V. Effects of phosphorus deficiency on growth and metabolism of soybean. *Bot. Gaz.*, **11**:426-36, 1950.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I: Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **27**:403-7, 1963.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; ARMIGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.*, **61**:505-11, 1969.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R.; ARMIGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **31**:513-21, 1967.
- GOODLAND, R. The cerrado oxisols of Triângulo Mineiro, Central Brasil. *An. Acad. Bras. Ci.*, **43**:407-14, 1971.
- JOHNSON, R.E. & JACKSON, W.A. Calcium uptake and transport by wheat seedlings as affected by aluminum. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **28**:318-86, 1964.
- JÖRGENSEN, S.S. *Laboratory manual: some methods used for routine chemical analysis*. Piracicaba, Centro de Energia Nuclear na Agricultura, 1977. 22p.
- KAMPRATH, E.J. Lime in relation to Al toxicity in tropical soils. In: ANDREW, C.S. & KAMPRATH, E.J. ed. *Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils*. Victoria, Austrália, Dominion Press, 1978. p.93-111.
- LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **33**:95-8, 1969.
- LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agron. J.*, **63**:604-8, 1971.
- MACHADO, M.A. *Cinética da absorção de fosfato em Stylosanthes guianensis e S. macrocephala na presença de alumínio*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 51p. Tese Mestrado
- MACLEAN, A.A. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.*, **46**:147-53, 1966.
- MACLEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Effect of concentration of the aluminum ion on root development and establishment of legume seedlings. *Can. J. Soil Sci.*, **45**:221-34, 1965.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **36**:779-802, 1972.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminum-phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **38**:931-34, 1974.
- MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI FILHO, J.; LANTMANN, A.F.; GARCIA, A.; CATTANEO, A. Tolerância de cultivares de soja e trigo à acidez do solo. *R. bras. Ci. Solo*, **2**:34-40, 1978.
- NELSON, W.L. & BARBER, S.A. Nutrient deficiencies in legumes for grain and forage. In: SPRAGUE, H.B. ed. *Hunger signs in crops*. New York, David McKay Co, 1964. p.165p.
- OLMOS, I.L.J. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciê. Cult.*, **28**:171-80, 1976.
- PRICE, C.A. Iron compounds and plant nutrition. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, **19**:239-48, 1968.
- REIS, B.F.; BERGAMIN FILHO, H.; ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J. Merging zones in flow injection analysis. Part. 3: Spectrophotometric determination of aluminum in plant and soil materials with sequential addition of pulsed reagents. *Anal. Chim. Acta*, **107**:309-17, 1979.
- ROSOLEM, C.A. *Nutrição mineral da soja*. Piracicaba, Institutos da Potassa, 1980. 80p. (Boletim Técnico, 6)
- RUSCHEL, A.P.; ALVAHYDO, R.; SAMPAIO, I.B.M. Influência do excesso de alumínio no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva. *Pesq. agropec. bras.*, **3**:229-33, 1968.
- SARTAIN, J.B. & KAMPRATH, E.J. Aluminum tolerance for soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. *Agron. J.*, **70**:17-20, 1978.
- STEEL, R. & TORRIE, J.H. *Principles and procedures of statistics*. London, McGraw-Hill Book Co, 1960. 481p.
- STEINBERG, R.A. Symptoms of molybdenum deficiency in tobacco. *Plant Physiol.*, **28**:319-22, 1953.

- ZAGATTO, E.A.G.; KRUG, F.J.; BERAMIN FILHO, H.; JÖRGENSEN, S.S.; REIS, B.F. Merging zones in flow injection analysis. Part. 2: Determination of calcium, magnesium, and potassium in plant material by continuous flow injection atomic absorption and flame emission spectrometry. *Anal. Chim. Acta*, **104**:279-84, 1979.