

# EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A COMPOSIÇÃO MINERAL DE DOIS CULTIVARES DE SORGO (*Sorghum bicolor* L. Moench)<sup>1/</sup>

Adonai Gimenez Calbo<sup>2/</sup>  
José Cambraia<sup>3/</sup>

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a ocorrência de toxidez de alumínio na planta é generalizada. Na maioria das vezes, ela se associa a solos de baixa fertilidade e de elevada acidez (13).

Pela importância agronômica, e mesmo ecológica, têm-se procurado identificar, nas plantas, os processos sensíveis à ação desse elemento, quando em níveis tóxicos. Os progressos na descoberta do(s) mecanismo(s) da ação tóxica do alumínio têm sido dificultados pela inexistência de um radioisótopo adequado e barato desse elemento (6). Isso, associado à diversidade de reações das espécies e cultivares ao alumínio, tem contribuído sobremaneira para que as causas fisiológicas da toxidez do alumínio permaneçam ainda obscuras (6, 12).

O estudo sistemático e seqüencial dos efeitos do alumínio sobre vários processos fisiológicos, utilizando apenas uma espécie vegetal, parece ser a maneira mais lógica de procurar estabelecer um modelo da ação tóxica do alumínio. Esse modelo poderia, então, ser adaptado ou inteiramente modificado para explicar o fenômeno noutras espécies, até que se pudesse estabelecer um modelo único, que abrangesse as múltiplas interações e efeitos do alumínio nas plantas.

---

<sup>1/</sup> Parte da tese apresentada à U.F.V., pelo primeiro autor, como parte das exigências do curso de Mestrado em Fisiologia Vegetal.

Recebido para publicação em 8-11-1979. Projeto n.º 4.153 do Conselho de Pesquisa da U.F.V.

<sup>2/</sup> UEPAE-BRASÍLIA, Cx. Postal 1316, 70000 Brasília, DF.

<sup>3/</sup> Departamento de Biologia Geral, Universidade Federal de Viçosa. 36570 Viçosa, MG.

Neste trabalho foram medidos os efeitos do alumínio sobre a produção de matéria seca e a composição mineral de dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), diferentes na sensibilidade ao alumínio, com a finalidade de obter dados que auxiliem no esclarecimento do mecanismo de ação tóxica desse elemento.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizados dois cultivares híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor L. Moench*), obtidos no Centro Nacional de Pesquisas em Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, que se distinguiam pela sensibilidade ao alumínio: um sensível (CMS x S-903) e outro tolerante (CMS x S-106).

As sementes foram colocadas para germinar em areia lavada e as plântulas foram irrigadas com solução de Clark (2), com um terço da concentração original, até que completassem uma semana de idade, quando foram transplantadas, duas a duas, para recipientes que continham 1.540 ml de solução de Clark, pH 3,8 (2), com diferentes níveis de alumínio e sob aeração. A partir do quinto dia de cultivo, o pH da solução nutritiva foi ajustado de dois em dois dias, e o nível de fósforo dos vasos foi corrigido aos 17 e 19 dias.

Depois de 21 dias de cultivo hidropônico, na presença dos níveis 0, 2, 4, e 8 ppm de alumínio, as plantas foram colhidas e divididas em parte aérea e sistema radicular. Depois da determinação da matéria seca, fez-se uma digestão nítrico-perclórica do material e procedeu-se à determinação dos teores de fósforo (11), alumínio (9), cálcio, magnésio e potássio (20).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Efeito do Alumínio sobre a Produção de Matéria Seca

A produção de matéria seca, tanto pelo sistema radicular quanto pela parte aérea de plantas de sorgo, foi severamente reduzida na presença de níveis tóxicos de alumínio (Figura 1). Embora os dois cultivares não tenham diferido quanto à produção de matéria seca pela parte aérea, verificou-se que o cultivar sensível teve a matéria seca de seu sistema radicular significativamente mais reduzida que a do cultivar tolerante. Convém salientar que, embora as reduções máximas tenham ocorrido em níveis de alumínio em torno de 6 ppm, a presença de apenas 2 ppm de alumínio causou reduções de 36% e 53% nos sistemas radiculares dos cultivares tolerante e sensível, respectivamente, e de 49% na parte aérea.

A relação entre a matéria seca produzida pela parte aérea e a produzida pelo sistema radicular foi muito diferente nos dois cultivares (Figura 2). No cultivar sensível, aumentou linearmente com os níveis de alumínio; no cultivar tolerante decresceu inicialmente, passando por um mínimo, em torno de 5 ppm de alumínio e, depois, mostrou tendência de crescimento, mas, nos níveis de alumínio testados, foi sempre menor que no controle. Embora se tenha verificado que em determinadas leguminosas forrageiras essa relação não variou nas espécies tolerantes (1), acredita-se que essa diferença de comportamento dos dois cultivares de sorgo seja um componente importante da resistência ao alumínio. Acredita-se que grande parte da tolerância do cultivar híbrido CMS x S-106 possa ser atribuída ao maior desenvolvimento de seu sistema radicular, em relação à parte aérea, sob o 'stress' do alumínio. Aparentemente, esse maior desenvolvimento possibilitou maior absorção de água e de elementos minerais, o que resultou em maior produção de matéria fresca e seca.

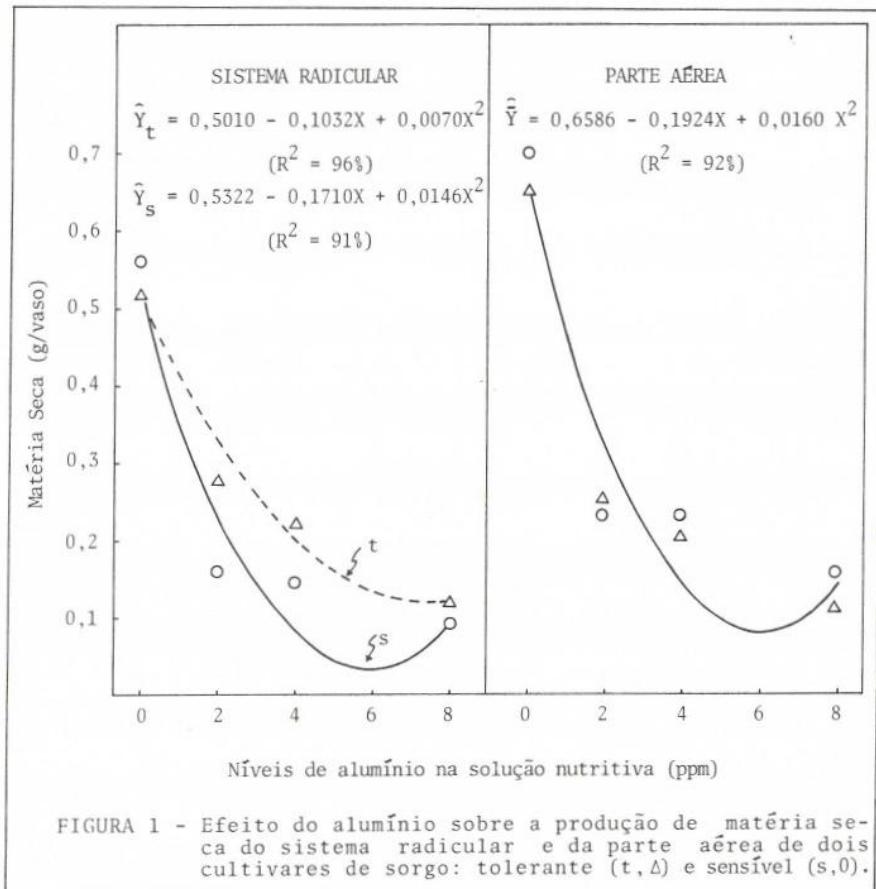


FIGURA 1 - Efeito do alumínio sobre a produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea de dois cultivares de sorgo: tolerante ( $t$ ,  $\Delta$ ) e sensível ( $s$ ,  $\circ$ ).

### 3.2. Efeito do Alumínio sobre a Composição Mineral

A composição mineral dos tecidos do sistema radicular e da parte aérea foi severamente influenciada pelos níveis crescentes de alumínio na solução nutritiva.

No sistema radicular, os teores de cálcio, de magnésio e de potássio diminuíram com o aumento da concentração de alumínio na solução nutritiva (Figuras 3, 4 e 5). Contudo, não houve diferença estatística entre os cultivares, exceto no caso do cálcio, cujo teor, no cultivar sensível, foi significativamente menor.

O cálcio, além de ser imprescindível para a manutenção da integridade das membranas, influencia a formação e a estrutura da parede celular e o alongamento celular, especialmente das raízes (4, 14). É provável, portanto, que o melhor desenvolvimento do sistema radicular do cultivar tolerante na presença do alumínio (Figura 1) tenha sido consequência, em grande parte, do maior teor de cálcio nesse cultivar. Essa hipótese é reforçada pelos resultados de RHUE e GROGAN (15), que obtiveram redução dos sintomas de toxidez de alumínio em cultivares de milho com a aplicação de altos níveis de cálcio.

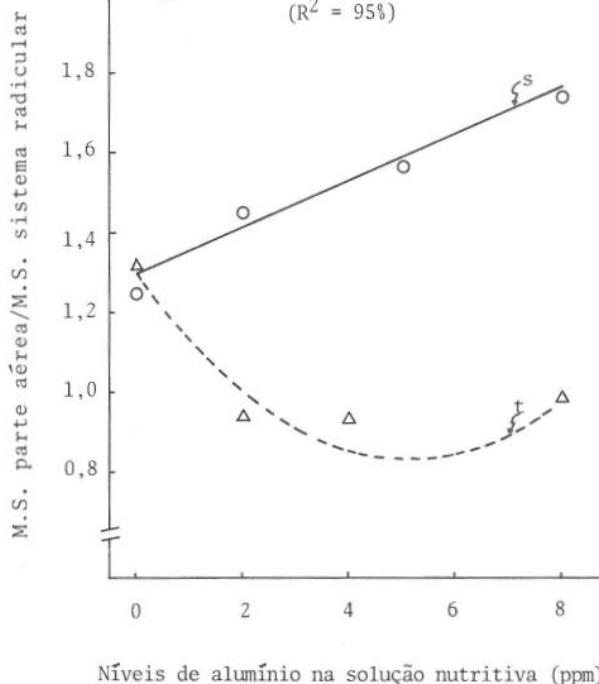


FIGURA 2 - Efeito do alumínio sobre a relação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a do sistema radicular de dois cultivares de sorgo: tolerante ( $t, \Delta$ ) e sensível ( $s, o$ ).

O teor de fósforo no sistema radicular foi distintamente influenciado nos dois cultivares (Figura 6). No cultivar sensível, o teor de fósforo reduziu-se ligeiramente (aproximadamente 7%) apenas no início; depois, cresceu, atingindo valores mais elevados que os do controle. O teor de fósforo no cultivar tolerante foi bem mais reduzido (aproximadamente 36%) que no cultivar sensível, e, embora tivesse apresentado tendência de aumentar com níveis de alumínio acima de 6 ppm, foi sempre menor que o do controle. Esses resultados sugerem estar ocorrendo uma precipitação de fósforo nos tecidos radiculares, pelo menos nas concentrações mais elevadas de alumínio. Resultados semelhantes foram encontrados por WRIGHT (18) e WRIGHT e DONAHUE (19), que admitiram, além de uma precipitação interna, uma interferência na translocação desse elemento para a parte aérea das plantas. RORISON (16) e CLARKSON (3) sugerem que, pelo menos nos estádios iniciais, a maior parte do alumínio incorporado pelas raízes liga-se a sitios de adsorção na parede celular, e sobre essas superfícies o fosfato se precipita. Seja por precipita-

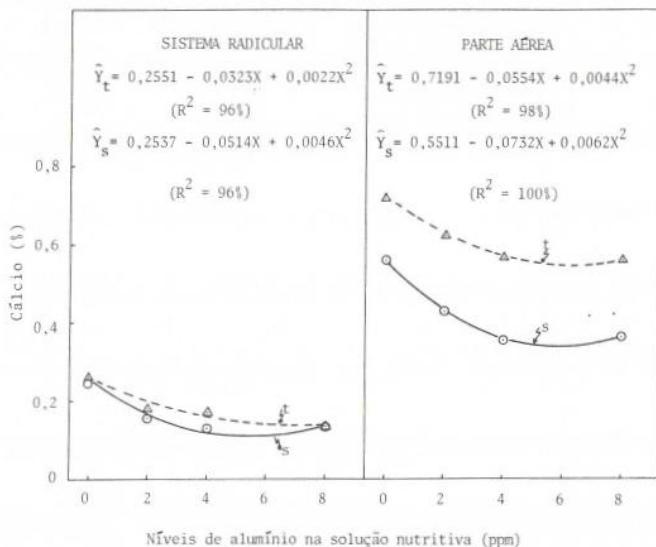


FIGURA 3 - Efeito do alumínio sobre a percentagem de cálcio no sistema radicular e na parte aérea de dois cultívares de sorgo: tolerante (t, Δ) e sensível (s, ○).

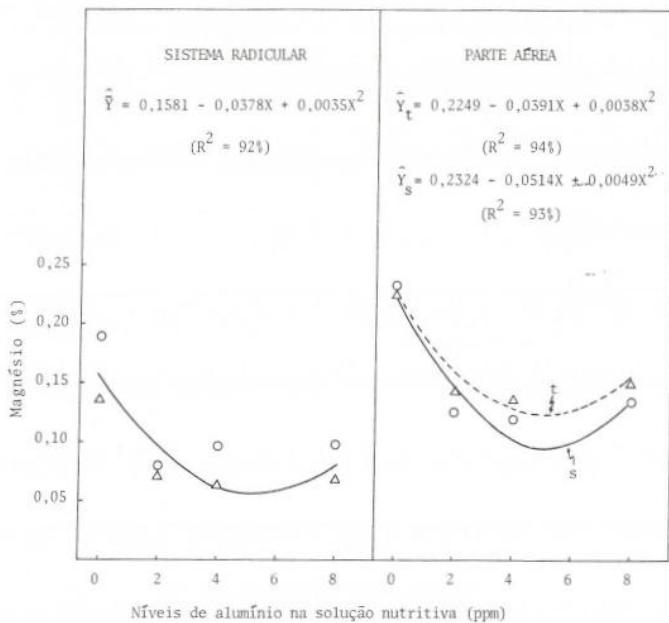


FIGURA 4 - Efeito do alumínio sobre a percentagem de magnésio no sistema radicular e na parte aérea de dois cultívares de sorgo: tolerante (t, Δ) e sensível (s, ○).

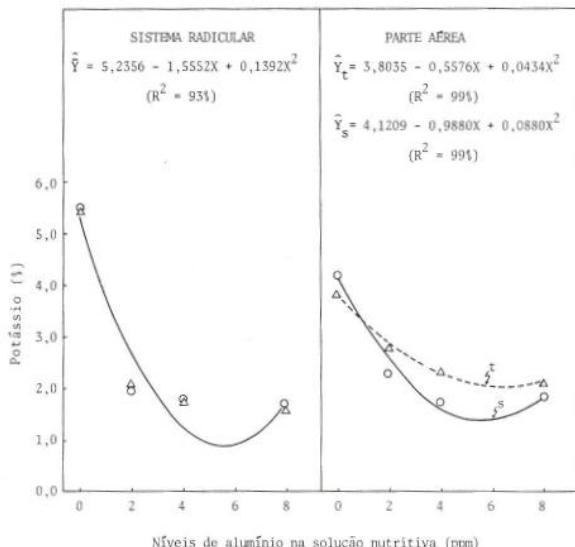


FIGURA 5 - Efeito do alumínio sobre a percentagem de potássio no sistema radicular e na parte aérea de dois cultivares de sorgo: tolerante (*t*, Δ) e sensível (*s*, ○).

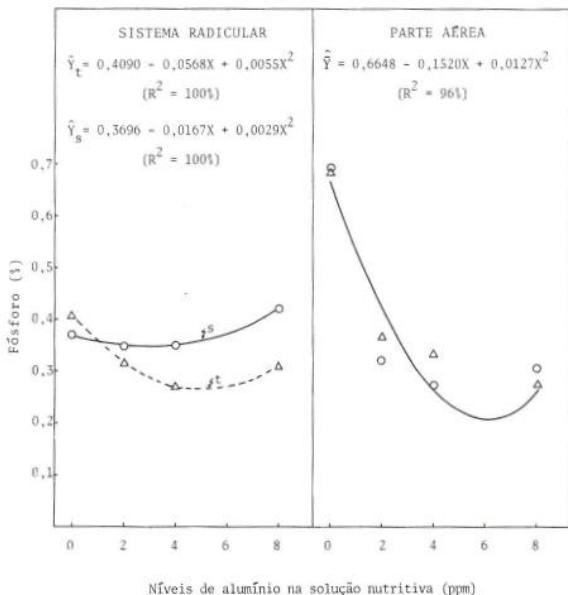


FIGURA 6 - Efeito do alumínio sobre a percentagem de fósforo no sistema radicular e na parte aérea de dois cultivares de sorgo: tolerante (*t*, Δ) e sensível (*s*, ○).

ção nos espaços livres, seja por adsorção-precipitação na superfície das paredes celulares, parece ter ocorrido uma fixação de fósforo nos tecidos radiculares, conforme se depreende dos dados apresentados na Figura 7. Observa-se que a relação entre o teor de fósforo no sistema radicular e o teor de fósforo na parte aérea aumentou com o nível de alumínio, isto é, à medida que a concentração de alumínio aumentou, o teor de fósforo foi reduzido mais rapidamente na parte aérea que no sistema radicular.

Na parte aérea, a redução dos teores de cálcio, magnésio e potássio foi, em média, significativamente maior no cultivar sensível que no cultivar tolerante (Figuras 3, 4 e 5), ao passo que a redução do teor de fósforo foi semelhante nos dois culturáveis (Figura 7).

Na parte aérea do cultivar sensível, observou-se coloração avermelhada e crestamento das folhas mais velhas, à semelhança de deficiência de fósforo (6), embora os níveis desse elemento na solução nutritiva tenham sido verificados e corrigidos periodicamente. A deficiência de fósforo sugerida foi consequência, provavelmente, da menor capacidade desse cultivar para utilizar o fósforo, quando em baixas concentrações, e/ou da maior redução dos teores de magnésio e potássio na parte aérea do cultivar sensível. Essa última hipótese parece bastante razoável, já que o potássio e, principalmente, o magnésio são cofatores indispensáveis para a utilização metabólica do fósforo (5, 8).

Os teores de alumínio no sistema radicular e na parte aérea cresceram à medida que se aumentou o nível de alumínio na solução nutritiva (Figura 8). Pode-se observar, ainda, que apenas uma pequena quantidade de alumínio translocou-se para a parte aérea, confirmando mais uma vez a observação de que o alumínio é um elemento de baixa mobilidade na planta (1). Possivelmente, o acúmulo de alumínio na parte aérea não teve papel muito importante, uma vez que parece não haver relação evidente entre a tolerância ao alumínio e o acúmulo desse elemento na parte aérea (7).

Vários autores têm relatado que o alumínio absorvido pelas raízes se liga a grupos carboxílicos livres de ácidos poligalacturônicos ou forma ligações cruzadas com pectinas da lamela média (3, 10, 16). Em consequência, há uma redução na plasticidade das paredes celulares que impede o alongamento celular normal e causa modificações morfológicas no sistema radicular (10).

Nota-se que, após uma pseudo-saturação (Figura 8), ocorre novo acúmulo de alumínio, principalmente no sistema radicular do cultivar sensível. É provável que as plantas submetidas a níveis mais elevados de alumínio tenham produzido teores mais elevados de compostos pécticos e adquirido, em razão disso, maior número de sítios de ligação para o alumínio (17).

#### 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Os efeitos do alumínio (0, 2, 4 e 8 ppm) sobre a produção de matéria seca e a composição química (parte aérea e sistema radicular) foram determinados em dois culturáveis de sorgo: um tolerante (CMS x S-106) e um sensível (CMS x S-903) àquele elemento. As plantas foram cultivadas em solução nutritiva com 2 ppm de fósforo e pH 3,8, durante 21 dias, quando foram colhidas e analisadas.

Observou-se acentuada redução na produção de matéria seca e na concentração de vários elementos minerais. O cultivar sensível ao alumínio apresentou teor de cálcio, tanto na parte aérea como no sistema radicular, significativamente menor que o do cultivar tolerante. Além disso, apresentou teores de magnésio e potássio, na parte aérea, significativamente menores que os do cultivar tolerante.

Admitiu-se a ocorrência de precipitação de fosfato de alumínio nos espaços livres e/ou adsorção-precipitação de fosfato sobre o alumínio ligado a certos componentes das paredes celulares dos tecidos do sistema radicular. O efeito foi mais acentuado nos níveis mais elevados de alumínio, principalmente no cultivar sensível.

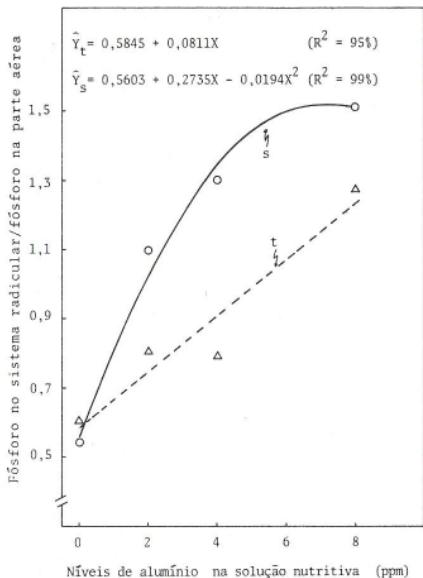


FIGURA 7 - Efeito do alumínio sobre a relação entre o fósforo no sistema radicular e o fósforo na parte aérea de dois cultívares de sorgo: tolerante ( $t, \Delta$ ) e sensível ( $s, o$ ).

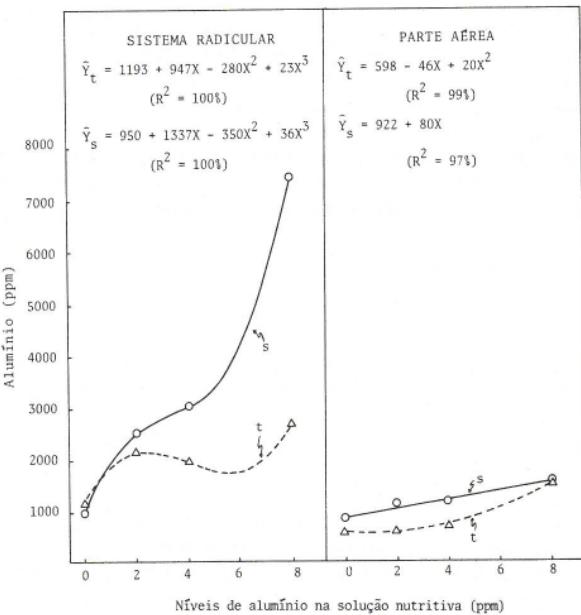


FIGURA 8 - Efeito do alumínio sobre a concentração de alumínio no sistema radicular e na parte aérea de dois cultívares de sorgo: tolerante ( $t, \Delta$ ) e sensível ( $s, o$ ).

vel. Os teores de fósforo na parte aérea não diferiram estatisticamente, para os dois cultivares. As diferenças de produção de matéria seca e os sintomas de deficiência de fósforo observados na parte aérea do cultivar sensível foram atribuídos às diferenças entre os teores de magnésio e potássio, cofatores indispensáveis à utilização metabólica do fósforo.

A curva de acúmulo de alumínio nas raízes apresentou duas fases distintas: uma de 0 a 4 ppm, aproximadamente, e outra de 4 a 8 ppm. A natureza das transformações que ocorrem na inflexão não é conhecida, mas é possível que esteja ocorrendo síntese de substâncias pécticas, ou de outras substâncias, nas paredes celulares, o que aumentaria a quantidade de sítios de ligação para o alumínio.

### 5. SUMMARY

The effects of aluminum (0, 2, 4 and 8 ppm) on dry matter production and chemical composition were determined for 2 cultivars of sorghum, one tolerant (CMS x S-106) and one sensitive CMS x S-903 to that element. The plants were grown in a culture solution with a pH 3.8 and with phosphorus at 2 ppm. Plants were harvested at 21 days for analysis.

Aluminum treatment reduced the dry matter production and the concentrations of mineral elements. The sensitive cultivar had a calcium content, in both tops and roots, significantly lower than the tolerant one. The tops of the sensitive plants also had lower concentrations of magnesium and potassium than did the tolerant one.

It was hypothesized that aluminum phosphate precipitation in free space and/or adsorption-precipitation of phosphorus to aluminum bound in cell wall materials occurred especially in sensitive plants. The visual symptoms of P-deficiency, the lower dry matter production and the reduced growth of the sensitive plants were attributed to a lack of adequate supply of magnesium and potassium, which hindered and effective utilization of phosphorus.

The accumulation curve of aluminum in roots showed two distinctive phases: one from 0 to about 4 ppm, and the other from 4 to 8 ppm. The nature of the transition taking place at the inflection point is not known but is possible that synthesis of pectic substances, increasing the number of binding sites for aluminum in cell walls, may be occurring.

### 6. LITERATURA CITADA

1. ANDREW, C.S., JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:325-339. 1973.
2. CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-460. 1975.
3. CLARKSON, D.T. Interactions between aluminum and phosphorus on root surfaces and cell wall materials. *Plant & Soil*, 27:347-356. 1967.
4. EPSTEIN, E. *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. New York, John Wiley & Sons, 1972. 412 p.
5. EVANS, H.J. & SORGER, G.J. Role of mineral elements with emphasis on the univalent cations. *Ann. Rev. Pl. Physiol.* 17:47-76. 1966.
6. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: Carson, E. W., ed., *The*

- plant root and its environment.* Charlottesville, Virginia University Press, 1974. p. 600-642.
7. FOY, C.D., FLEMING, A.L. & GERLOFF, G.C. Differential aluminum tolerance in two snapbean varieties. *Agron. J.* 64:815-818. 1972.
  8. GAUCH, H.G. *Inorganic plant nutrition.*, 2nd ed. Stroudsburg, Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., 1973. 488 p.
  9. HSU, P.H. Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminum with aluminon. *Soil Sci.*, 96:230-238. 1963.
  10. KLIMASHEVSKII, E.L. & DEDOV, V. M. Localization of the mechanism of growth-inhibiting action of aluminum in elongating cell walls. *Soviet Plant Physiol.*, 22:1040-1046. 1976.
  11. LINDEMAN, W. Observations on the behaviour of phosphate compounds in *Chlorella* at the transition from dark to light. Proc. 2nd United Nations International Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy. 24:8-15. 1968.
  12. MATSUMOTO, H., HIRASAWA, E., TORIKAI, H. & TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant Cell Physiol.*, 17:127-137. 1976.
  13. OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.C. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ciência e Cultura*, 28:171-180. 1976.
  14. RAINS, D.W. Mineral Metabolism. In: Bonner, J. & Varner, J.E., ed. *Plant Biochemistry*, 3rd ed. New York, Academic Press, 1976. p. 561-597.
  15. RHUE, R.D. & GROGAN, C.O. Screening corn for aluminum tolerance using different calcium and magnesium concentrations. *Agron. J.*, 69:755-760. 1970.
  16. RORISON, I.H. The effect of aluminum on uptake and incorporation of phosphate by sainfoin roots. *New Phytol.*, 64:23-27. 1965.
  17. RUSCHEL, A.P., ALVAHYDO, T., BARBOSA, I., SAMPAIO, M. Influência do excesso de alumínio no feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em solução nutritiva. *Pesq. Agropec. Bras.*, 3:229-233. 1968.
  18. WRIGHT, K.E. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminum toxicity. *Plant Physiol.* 18:708-712. 1943.
  19. WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.* 28:674-680. 1953.
  20. YOSHIDA, S., FORNO, D.A., COCK, J.H. & GOMES, K.A. *Laboratory manual for physiological studies of rice*. 2.<sup>a</sup> ed., Los Baños, I.R.R.I., 1972. 67 p.