

## EFEITOS DO ALUMÍNIO SOBRE O DESENVOLVIMENTO E A COMPOSIÇÃO MINERAL DE QUATRO LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS\*

Lia M. Beatriz F. Jardim\*\*  
E. Malavolta\*\*\*

## RESUMO

Quatro leguminosas forrageiras tropicais (*Galactia striata* (Jacq) Urb. , *Glycine wightii* Verdc. cv. Tinaroo, *Mucroptilium atropurpureus* cv. Siratro e *Stylosanthes guianensis* (Avbl) Swartz cv. IRI 1022) foram cultivadas em solução nutritiva recebendo doses de alumínio de 0,5 , 10 e 20 ppm, com o objetivo de se verificarem os efeitos das doses crescentes do elemento sobre as diferentes espécies.

Submetendo-se os dados de produção de matéria seca e de concentrações de ma-

---

\* Recebido para publicação em 28/12/84. Parte da Dissertação de Mestrado de Lia M.B.F. Jardim.

\*\* Engenheira Agrônoma.

\*\*\* Professor Catedrático - CENA/USP - 13.400 - Piracicaba, SP.

cro e micronutrientes à análise estatística, observou-se o seguinte:

a) O estílo e a galactia mostraram-se mais tolerantes. A galactia apresentou a máxima produção em presença de 5 ppm de Alumínio, não sendo afetada pelas concentrações mais elevadas. O estílo apresentou a máxima produção em presença de 20 ppm de Alumínio.

b) A soja e o siratro mostram-se sensíveis, notando-se uma queda na produção de matéria seca em presença de 20 ppm de Alumínio na solução. A soja mostrou sintomas mais graves de toxidez, apresentando seu sistema radicular totalmente danificado na concentração mais alta de Alumínio na solução.

c) A adição de Alumínio provocou uma diminuição nas concentrações de fósforo, cálcio e magnésio nas raízes ou partes aéreas das plantas e de manganês nas raízes e uma elevação na concentração de Alumínio nas raízes.

## INTRODUÇÃO

Os cerrados, no Brasil, ocupam uma área de 1.800.000 km<sup>2</sup>, correspondentes a aproximadamente 20% da superfície do território nacional. Dessa área, 77% se concentram nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso, onde se encontram 42% do rebanho bovino do País.

Nas áreas de cerrado, há predominância quase absoluta de solos classificados como de potencial inferior a baixo para a agricultura e a pecuária, com inaptidão para culturas de ciclo longo ou curto, quando não se empregam técnicas corretivas.

Embora com características de plantas de clima árido, a vegetação do cerrado não tem na água ou na temperatura o principal fator limitante para o seu desenvolvimento, e sim nas condições de fertilidade do solo, classificada como baixa a muito baixa.

Os solos do cerrado são em geral Latossolos ou Oxissolos ácidos e ricos em óxidos de Ferro e Alumínio e extremamente deficientes em fósforo.

As características químicas dos solos do cerrado podem ser assim resumidas:

- a) pH baixo, compreendido entre os valores 4 e 6.
- b) Capacidade de troca de cátions baixa, entre 6,0 e 2,0 emg/100 g de terra.
- c) Soma de bases trocáveis (S) baixa, menor que 1,0 emg/100 g de terra.
- d) Baixo teor de matéria orgânica.
- e) Baixa porcentagem de água disponível, menor que 15%.
- f) Predominância de sesquióxidos de ferro e alumínio na fração coloidal do solo, dando a este natureza positiva das posições de dupla troca, resultando em tendência para a fixação de radicais negativos como os fosfatos.
- g) Presença de níveis tóxicos de manganês que tem

sua solubilidade favorecida, pelas condições de baixo pH, aeração deficientes, baixo teor de matéria orgânica e atividade microbiológica reduzida.

O Alumínio e o Manganês são os elementos que mais limitam o crescimento das plantas nos solos ácidos. Sendo o alumínio o principal componente da acidez do solo, assume um papel fundamental nos solos do cerrado. A alta concentração desse elemento no solo provoca a diminuição da absorção do fósforo e do potássio pela formação de compostos insolúveis e inibe competitivamente a absorção do cálcio e do magnésio pelas plantas.

A utilização do cerrado para a formação de pastagens tem sido feita por meio de correção do solo pela calagem e adubação fosfatada, de acordo com as condições de fertilidade, o que exige grande despesa em investimentos por hectare.

Para se obter maior eficiência e produtividade de maneira mais econômica, o uso de pastagens no cerrado deve ter em vista fatores que favoreçam a exploração e aumentem sua viabilidade.

As pesquisas devem ser concentradas no sentido de selecionar ou desenvolver variedades de plantas com maior tolerância aos fatores de "stress" específicos dos solos ácidos. Em alguns casos, adaptar a planta ao solo pode ser mais econômico a longo prazo que adaptar o solo à planta.

Baseando-se na tolerância diferencial entre espécies e variedades de plantas a níveis tóxicos de Alumínio no meio, este trabalho teve por objetivo testar quatro espécies de leguminosas forrageiras e classificá-las de acordo com seu comportamento.

## REVISÃO DE LITERATURA

## Ocorrência

O Alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre. Calcula-se que 15% estejam sob a forma de óxido ( $Al_2O_3$ ), o segundo em abundância. Nos solos tropicais, ocorre em maior proporção que o silício. (MALAVOLTA, 1980).

Segundo McLEAN (1976) o Alumínio ocorre nos solos como mineral nativo, hidróxido de alumínio e fosfato de Alumínio, responsável pela fixação da maior parte do fósforo aplicado ao solo. Além de seu papel estrutural, o Alumínio atua de várias outras maneiras, a maioria das quais afeta adversamente o solo como meio para o desenvolvimento das raízes vegetais.

No Brasil, OLMOS & CAMARGO (1975) relatam níveis de saturação de Alumínio superiores a 50% em vários Oxisolos distróficos. Nos Latossolos vermelhos, que são os principais solos encontrados nas regiões de cerrado, a saturação média encontrada comumente é de 79%. (OLIVEIRA, 1980).

A acidez do solo é o principal fator no controle do alumínio solúvel e trocável existente nos solos. O Alumínio permanece em solução sob condições ácidas ou básicas. Perto da neutralidade, pode haver sua precipitação sob a forma de hidróxido (McLEAN, HALSTEAD & FINN, 1972; MONIZ, 1972; BUCKMAN & BRADY, 1974; FOY, 1976; MALAVOLTA, 1976; McLEAN, 1976).

Outros fatores que afetam a concentração de Alumínio na solução do solo são a CTC (capacidade de troca catiônica), o nível eletrolítico e o teor de matéria orgânica. De acordo com PRATT (1966) e AVDONIN (1971) os sais aumentam e a matéria orgânica diminui o teor de Alu

mínio solúvel no solo. A influência do nível de matéria orgânica sobre os efeitos da alta saturação de Alumínio são discutidos por **MENGEL & KAMPRATH (1978)**, que atribuem seu efeito benéfico à provável formação de complexos estáveis Alumínio-matéria orgânica de baixa solubilidade.

Os fertilizantes fosfatados atuam na redução do efeito tóxico do Alumínio, pela sua precipitação como fosfato de Alumínio no solo e no interior das raízes (**AWAD et alii, 1976; WHITE, TIFFIN & TAYLOR, 1976**).

#### Efeitos do Alumínio nos processos de desenvolvimento da planta

Estudos de **GILBERT & PEMBER (1930)** evidenciaram que a produção de matéria seca de plântulas de alface associou-se mais estreitamente ao nível de Alumínio que à acidez da solução nutritiva. A relação ocorre usualmente na forma de um declínio exponencial na produção da parte aérea com os níveis crescentes do elemento tóxico. Usando-se espécies mais tolerantes, nota-se um pequeno estímulo na produção por níveis baixos de Alumínio, com o declínio exponencial aparecendo em níveis mais altos (**HELYAR, 1978**). O crescimento reduzido tem sido atribuído, entre outras causas, à deficiência de fósforo causada pela sua precipitação no solo como fosfato de Alumínio insolúvel ou no interior das raízes, bloqueando os sítios de absorção para o fosfato ou inibindo a esterificação do fosfato inorgânico no citoplasma das células radiculares (**WHITE, 1976**). De modo geral, a redução do teor de fósforo na parte aérea é acompanhada por uma elevação da concentração nas raízes (**ANDREW, 1978**).

De acordo com **FOY & BROWN (1964)** e **ANDREW (1978)**, o Alumínio afeta a absorção e consequente translocação do cálcio notando-se uma redução na concentração deste elemento nas partes aéreas.

Os efeitos positivos da calagem sobre o desenvolvimento das plantas cultivadas em presença de altas concentrações de alumínio são relatadas por JUSTE (1964) ; GONZALES et alii (1976), SARTAIN & KAMPRATH (1976): AUTCHINSON & HUNTER (1970).

Os sintomas de toxidez de alumínio, caracterizados por alterações fisiológicas e morfológicas, manifestam-se tanto na parte aérea quanto nas raízes das plantas . Nas raízes ocorre uma desorganização no ápice dos elementos vasculares (McLEAN , 1976), inibição da divisão celular, com presença de células binucleadas (MONIZ, 1972; MALAVOLTA, 1976; WHITE, 1976). O alumínio interfere com as reações enzimáticas e com a absorção e transporte de elementos como o cálcio, magnésio e fósforo.

ARTYUSHIN & KUROCHKIN (1969) observaram inibição do crescimento radicular e redução no peso de plantas de ervilha, cultivadas em presença de alumínio em excesso. VIDOR & FREIRE (1972) notaram redução do peso dos nódulos e decréscimo no peso dos grãos em soja. AVDONIN (1971) estudando várias espécies de plantas, observou queda da taxa de fertilização e redução no peso das sementes com número mais elevado de grãos vazios. Houve inibição da conversão de monossacarídeos em dissacarídeos e do nitrogênio não proteico em substâncias proteicas. Para o trigo, houve uma redução nos teores de caroteno e de ácido ascórbico e piora na qualidade do glúten, além de uma diminuição na formação de clorofila.

A toxidez de alumínio se manifesta de forma característica nas raízes das plantas tornando sua diagnose mais difícil em condições de campo. As raízes apresentam coloração escura e param de crescer. Suas pontas podem engrossar, ganhando o aspecto de uma formação de corais. As raízes que se desenvolvem no solo morrem ao atingir a solução. (MALAVOLTA, 1976; FOY, 1976). No campo, as raízes prejudicadas exploram menor volume de solo, tornando deficiente a absorção de nutrientes e água (OLMOS & CAMARGO, 1976).

Na parte aérea, os sintomas visuais são semelhantes aos da deficiência de fósforo (FOY & BROWN, 1964; MA LAVOLTA, 1976; HELVAR, 1978) ou da deficiência induzida de cálcio (LONG & FOY, 1970).

De acordo com Goodland (1971) citado por FERRI (1977), as plantas do cerrado exibem características de acumuladoras de alumínio, como caules lenhosos, folhas coriáceas e frutos azulados.

### Seleção de variedades tolerantes ao alumínio

As diferentes respostas ao excesso de alumínio que se observam entre espécies e entre variedades de plantas (FOY & BROWN, 1964) permitem, por meio de seleção, que se procure favorecer características desejáveis como raízes mais profundas, menor exigência de fósforo e maior tolerância à acidez (FOY, 1976).

A tolerância diferencial é controlada geneticamente e os mecanismos envolvidos podem ser resumidos em: mudanças induzidas nos níveis de alumínio ao redor das raízes ou variações específicas de tolerância a uma dada concentração do elemento tóxico (FOY, 1976; McLEAN, 1976; HELYAR, 1978).

VOSE & RANDALL (1962) associaram a resistência ao alumínio à baixa CTC das raízes. As leguminosas têm aproximadamente duas vezes a capacidade de troca catiônica das gramíneas e, dentro de cada grupo, as espécies mais exigentes apresentam a CTC mais alta.

FOY & BROWN (1964) relacionaram a tolerância diferencial ao alumínio, à capacidade das plantas absorverem e utilizarem o fósforo em presença do alumínio.



Segundo JONES (1961) os mecanismos que controlam a tolerância de diferentes espécies, podem ou não envolver as quantidades de ácidos orgânicos encontrados nas plantas, principalmente o cítrico e o oxálico, que atuam como quelantes na inativação do excesso de alumínio.

As leguminosas para pastagens cultivadas em solos ácidos, têm sido selecionadas por sua capacidade de crescer sob níveis elevados de alumínio e teores reduzidos de fósforo, cálcio e magnésio. O gênero *Stylosanthes* desenvolve-se bem onde o nível de fósforo disponível é baixo; o *Stylosanthes humilis* tolera altas concentrações de alumínio e alguns cultivares de *Stylosanthes guianenses* apresentam pouca resposta à calagem (ALCANTARA & BUFARAH, 1979). A *Glycine wightii* e *Medicago sativa* são leguminosas mais sensíveis (SALINAS & SANCHEZ, 1976).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Seleção das espécies

Foram escolhidas quatro leguminosas forrageiras tropicais, cujas sementes foram fornecidas pelo Instituto de Zootecnia de Nova Odessa: Galactia (*Galactia striata* (Jacq.) Urb.); Soja perene (*Glycine wightii* Verdc cv. Tinaroo); Siratro (*Macropitilium atropurpureum* cv. Siratro) e Estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv. IRI 1022)

### Obtenção de mudas

A fase experimental deste trabalho foi desenvolvida no Laboratório da Seção de Nutrição de Plantas do CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

As sementes, após desinfecção por meio de lavagem com solução de hipoclorito de sódio diluído a 10%, foram colocadas para germinar em vermiculita umidecida com solução de sulfato de cálcio  $10^{-4}$  M ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   $10^{-4}$  M).

Após a emergência, as plântulas foram levadas para a casa de vegetação. Ao atingirem cerca de 10 cm de altura foram transplantadas para bandejas contendo solução nº 1 de HOAGLAND & ARNON (1950) diluída a 1/4, onde permaneceram por mais 15 dias, quando foram transplantadas para vasos individuais, dando-se início aos tratamentos.

#### Condução do ensaio

Nos vasos individuais com capacidade para 2,5 litros, as plantas foram cultivadas em solução nº 1 de HOAGLAND & ARNON (1950) modificada em relação à concentração de fósforo, para evitar a precipitação do alumínio. Os micronutrientes foram fornecidos por meio da solução "a" e o ferro por meio do Fe-EDTA (etileno diamino tetra acetato dissódico) de acordo com MALAVOLTA (1979). O alumínio foi fornecido como cloreto de alumínio hexahidratado ( $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ).

Os tratamentos aplicados foram os seguintes:

Tratamento	Concentração Al
Al <sub>0</sub> (completo)	0 ppm
Al <sub>1</sub>	5 ppm
Al <sub>2</sub>	10 ppm
Al <sub>3</sub>	20 ppm

As composições das soluções de trabalho, em ml/l, foram as seguintes:

Solução estoque	Al <sub>0</sub>	Al <sub>1</sub>	Al <sub>2</sub>	Al <sub>3</sub>
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> M	1	0,1	0,1	0,1
KNO <sub>3</sub> M	5	5	5	5
Ca(NO <sub>3</sub> ) M	5	5	5	5
MgSO <sub>4</sub> M	2	2	2	2
Sol. Fe-EDTA	1	1	1	1
Sol. "a"	1	1	1	1
AlCl <sub>3</sub> .6H <sub>2</sub> O M	0	1	2	4

Após o início dos tratamentos, as plantas permaneceram em solução nutritiva durante seis semanas, recebendo o arejamento por meio de tubos plásticos. As soluções foram trocadas a cada duas semanas e o volume dos vasos completado com água destilada diariamente.

Todas as espécies apresentaram ataque por ácaros, recebendo pulverização com clorobenzilato na proporção de 1 ml por litro a cada sete dias.

O efeito dos tratamentos foi observado diariamente, fazendo-se anotações quando necessário.

As plantas foram colhidas 45 dias após o início dos tratamentos e suas raízes destacadas à altura do colo e lavadas em água destilada.

Raízes e partes aéreas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa a 70-80°C até secagem completa.

Após a secagem o material foi pesado e triturado em moinho e as amostras pesadas para a realização das análises químicas.

### Análises químicas

As amostras foram divididas em duas partes e submetidas à digestão sulfúrica e digestão nitroperclórica, de acordo com JORGENSEN (1977). Em seguida, os extratos foram utilizados para a determinação dos teores de macro e micronutrientes, pelos seguintes métodos:

Nitrogênio: Microkjeldahl

Fósforo: Colorimetria

Potássio, cálcio, magnésio, cobre, manganês, ferro, zinco e alumínio: espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com JORGENSEN (1977).

Boro: espectrometria de plasma induzido em argônio

Enxofre: Turbidimetria por injeção em fluxo contínuo.

### Análises estatísticas

Para se avaliarem os efeitos dos tratamentos sobre o desenvolvimento das espécies estudadas, os seguintes parâmetros foram analisados estatisticamente:

- peso da matéria seca das partes aéreas, raízes e total em relação às doses de alumínio;

- concentração de macro e micronutrientes nas partes aéreas e raízes em relação às doses de alumínio;

- teores de alumínio nas partes aéreas e raízes em relação às doses aplicadas.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com 4 repetições.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Sintomas e toxidez

a) Galactia: as plantas tratadas com 5 ppm de Alumínio mostraram-se um pouco mais desenvolvidas que as do tratamento completo. O tratamento  $Al_2$  (10 ppm Al) produziu plantas bem desenvolvidas, com boa produção de massa verde e sistemas radiculares de volume quase três vezes superior aos das plantas controle, mais cheios e ramificados. Sob o tratamento  $Al_3$  (20 ppm Al) notou-se diminuição no desenvolvimento foliar. As plantas foram mais baixas e o caule menos ramificado. As folhas mais novas mostraram clorose leve e as mais velhas, clorose acentuada e algumas pontuações no limbo. As raízes mostraram um número elevado de pequenas ramificações na altura do colo da planta e as raízes secundárias se tornaram um pouco mais grossas e curtas.

b) Soja: Nesta espécie o desenvolvimento da parte aérea e das raízes seguiu os mesmos padrões observados para a galactia. O tratamento  $Al_2$  (10 ppm Al) foi o que proporcionou um maior desenvolvimento radicular. Quando tratada com 20 ppm de alumínio, entretanto, esta espécie foi a que apresentou maiores danos. O crescimento e a ramificação do caule foram reduzidos. Notaram-se clorose intensa, manchas escuras e queda das folhas mais velhas. O sistema radicular foi seriamente afetado. As raízes não se desenvolveram, tornando-se grossas e curtas. As raízes secundárias quase não cresceram, aparecendo em forma de pontas engrossadas, o que deu ao conjunto o aspecto coraloide, descrito por MALAVOLTA(1977).

c) Siratro: esta espécie seguiu os mesmos padrões já descritos. Os sintomas só foram visíveis no tratamento Al<sub>3</sub> (20 ppm Al) que causou redução no desenvolvimento das partes aéreas e encurtamento das raízes, que se tornaram grossas, como se houvessem sido quebradas.

d) Estilosantes: esta espécie mostrou-se pouco tolerante ao cultivo em solução nutritiva devido provavelmente ao excesso de umidade, o que tornou necessária a retirada da espuma de plástico que fixava as plantas ao vaso, diminuindo o acúmulo de água na altura dos colos.

Entre os tratamentos, não houve diferenças significativas entre os tratamentos Al<sub>0</sub>, Al<sub>1</sub> e Al<sub>2</sub>. Entretanto, sob o tratamento Al<sub>3</sub> (20 ppm Al) esta espécie foi a que melhor se comportou, com desenvolvimento superior aos outros tratamentos, tanto na produção das partes aéreas quanto das raízes.

De acordo com a observação visual dos efeitos das doses de alumínio sobre o desenvolvimento das plantas, pode-se concluir que o estilosantes mostrou-se mais tolerante e a soja perene, mais sensível ao excesso do elemento tóxico. Para todas as espécies houve efeito estimulante de determinadas concentrações de alumínio no meio.

#### Produção de matéria seca

Os dados da produção de matéria seca estão relacionados nas Tabelas 1, 2, 3 e 4.

Tabela 1 - Produção de matéria seca da *Galactia striata* (Jacq) Urb em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte Aérea	Raízes	Total
Al <sub>0</sub> - 0 ppm Al	2,39 b	0,68 b	3,07 b
Al <sub>1</sub> - .5 ppm Al	9,52 a	1,27 b	10,79 a
Al <sub>2</sub> - 10 ppm Al	9,80 a	1,95 a	10,75 a
Al <sub>3</sub> - 20 ppm Al	8,24 a	2,01 a	10,25 a
F	32,43 <sup>++</sup>	160,60 <sup>++</sup>	3,22
C.V. %	43,79	42,57	42,08
d.m.s. (5%)	2,56	0,65	2,88

- Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

F: indica variação significativa entre os tratamentos a nível de 5%(+) ou 1%(++).

Analisando-se os dados da Tabela 1 observa-se ter havido efeito benéfico do fornecimento de alumínio na produção de matéria seca da galactia. Todos os tratamentos se mostraram superiores ao tratamento completo, não diferindo significativamente entre si.

Tabela 2 - Produção de matéria seca de *Glycine withtii* Verdec cv. Tiranoo em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte Aérea	Raízes	Total
Al <sub>0</sub> - 0 ppm Al	1,81 c	1,12 c	2,93 b
Al <sub>1</sub> - 5 ppm Al	10,14 a	1,79 c	11,93 a
Al <sub>2</sub> - 10 ppm Al	10,48 a	2,65 b	13,13 a
Al <sub>3</sub> - 20 ppm Al	4,92 b	1,19 c	6,11 b
F	30,17 <sup>++</sup>	11,11 <sup>++</sup>	31,37 <sup>++</sup>
C.V. %	54,83	44,05	53,76
d.m.s. (5%)	2,81	0,90	3,59

- Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si, ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

F: indica variação significativa entre os tratamentos a nível de 5% (+) ou 1% (++) .

Os dados da Tabela 2 mostram o efeito benéfico do alumínio sobre o desenvolvimento da soja. O tratamento completo foi o que apresentou menor produção de matéria seca da parte aérea, seguido do tratamento Al<sub>3</sub>.



Tabela 3 - Produção de matéria seca do *Macroptilium atropurpureum* DC cv. Siratro em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte Aérea	Raízes	Total
Al <sub>0</sub> - 0 ppm Al	14,93 a	3,48 a	18,41 a
Al <sub>1</sub> - 5 ppm Al	11,27 a	2,02 a	13,29 a
Al <sub>2</sub> - 10 ppm Al	12,45 a	2,68 a	15,13 a
Al <sub>3</sub> - 20 ppm Al	7,09 b	2,40 a	8,49 b
F	17,30++	1,18	8,64++
C.V. %	33,09	44,15	31,09
d.m.s. (5%)	3,76	2,42	5,69

- Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo Teste de Tukey

F: significa variação significativa entre os tratamentos a nível de 5% (+) ou 1% (++)

Os dados da Tabela 3 indicam não ter havido, estatisticamente, diferença entre os tratamentos Al<sub>0</sub>, Al<sub>1</sub> e Al<sub>2</sub> na produção de matéria seca do siratro. O tratamento Al<sub>3</sub> apenas causou danos acentuados. Esta espécie não mostrou o estímulo de produção apresentado pelas outras com a adição de alumínio. Houve um pequeno aumento de produção do tratamento Al<sub>2</sub> em relação ao Al<sub>1</sub>, mas não houve diferença significativa estatisticamente.

Tabela 4 - Produção de matéria seca do *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz cv. IRI 1022 g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte Aérea	Raízes	Total
Al <sub>0</sub> - 0 ppm Al	3,28 ab	0,57 a	3,85 ab
Al <sub>1</sub> - 5 ppm Al	3,08 ab	0,41 a	3,49 ab
Al <sub>2</sub> - 10 ppm Al	2,05 b	0,21 a	2,26 b
Al <sub>3</sub> - 20 ppm Al	5,09 a	0,74 a	5,83 a
F	1,11	1,37	3,07
C.V. %	50,74	57,89	49,49
d.m.s. (5%)	3,02	0,67	3,44

- Os valores seguidos pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

F: significa variação significativa entre os tratamentos a nível de 5% (+) ou 1% (++) .

De acordo com a Tabela 4 as produções de matéria seca do Estilosantes para os tratamentos Al<sub>0</sub>, Al<sub>1</sub> e Al<sub>2</sub> não diferiram estatisticamente entre si. Houve uma ligeira queda do tratamento Al<sub>0</sub> para o Al<sub>1</sub> e para o Al<sub>2</sub>, mas sem significância estatística. O tratamento Al<sub>3</sub> (20 ppm Al) produziu um aumento no peso da matéria seca das partes aéreas e da planta toda, com significação estatística ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Esta espécie mostrou-se, portanto, melhor adaptada ao teor mais elevado de alumínio no meio.

As doses de alumínio fornecidas e a produção de matéria seca da parte aérea, em g/planta, para as quatro espécies, foram submetidas a análise de regressão, obtendo-se as equações relacionadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Efeitos de doses crescentes de alumínio sobre a produção de matéria seca de *Galactia striata* (Jacq) Urb., *Glycine wightii* Verdc cv. Tinaroo, *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro e *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz cv. IRI 1022.

Espécie	Equação de Regressão
Galactia	$Y = 2,390 + 2,418X - 0,2290X^2 + 0,00614X^3$
Soja perene	$Y = 1,810 + 2,761X - 0,2484X^2 + 0,00591X^3$
Siratro	$Y = 14,930 - 1,603X + 0,2113X^2 - 0,00775X^3$
Estilosantes	$Y = 3,279 + 0,169X - 0,0545X^2 + 0,0025X^3$

X = doses de alumínio em ppm Al.

Y = produção de matéria seca em g/planta.

As equações relacionadas na Tabela 5 estão representadas na Figura 1, que ilustra graficamente o efeito das doses de alumínio sobre a produção de matéria seca da parte aérea das quatro leguminosas estudadas.

De acordo com HELYAR (1978), os níveis crescentes de alumínio causam um declínio exponencial na produção da parte aérea. Quando se usam espécies mais tolerantes nota-se um estímulo na produção por níveis baixos de alumínio mas o declínio exponencial volta a aparecer em níveis mais altos de toxidez.

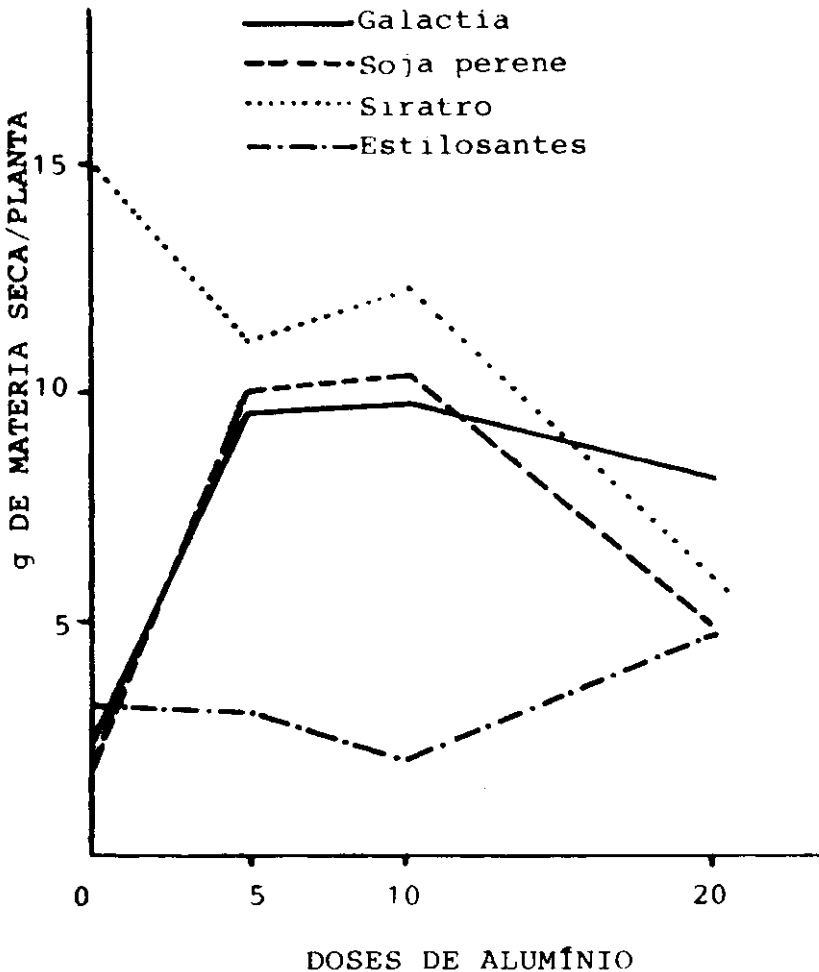


Figura 1 - Relação entre as doses de alumínio e a produção de matéria seca da parte aérea da Galactia, Soja perene, Siratro e Estilosantes.

### Efeitos do alumínio na composição mineral

Os resultados obtidos estão contidos nas Tabelas 6 a 13.

Os dados constantes das tabelas 6 e 7 indicam que, para a galactia, a adição de alumínio na solução provocou uma diminuição no teor de fósforo, cálcio e magnésio nas partes aéreas e raízes; de potássio e enxofre nas partes aéreas e de ferro nas raízes. Houve elevação nos teores de ferro, zinco e alumínio nas partes aéreas.

A soja (Tabelas 8 e 9) mostrou diminuição nas concentrações de fósforo e cálcio nas partes aéreas e raízes e de magnésio, enxofre, ferro e manganês nas raízes, com a elevação da concentração de alumínio na solução. Houve aumento nos teores de zinco e alumínio nas raízes.

O siratro (Tabelas 10 e 11) mostrou diminuição nas concentrações de cálcio, magnésio e manganês e elevação na concentração de alumínio nas raízes.

Os estilosantes (Tabelas 12 e 13) mostrou diminuição nos teores de fósforo e cálcio nas partes aéreas e raízes com a adição de alumínio, em relação ao tratamento completo; diminuição nos teores de magnésio e zinco nas raízes e elevação da concentração de alumínio nas raízes.

De acordo com GUERRIER (1978), KERRIDGE (1978) e ANDREW (1978). o alumínio diminui a absorção do fósforo, cálcio, potássio e magnésio e eleva a concentração de alumínio nos tecidos.

Tabela 6 - Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da galactia (*Galactia striata* Jacq. Urb.). Teores de macronutrientes. Médias de 4 repetições.

	% N		% P		% K		% Ca		% Mg		% S	
	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz
0 ppm Al	3,55	3,33	0,52	0,81	5,09	4,71	3,74	1,67	0,44	0,37	0,23	0,48
5 ppm Al	3,14	3,22	0,19	0,44	4,31	3,75	3,19	1,21	0,34	0,25	0,26	0,44
10 ppm Al	2,71	2,93	0,11	0,44	3,34	4,61	2,73	1,05	0,29	0,20	0,18	0,35
20 ppm Al	2,76	3,15	0,10	0,48	2,66	3,93	1,96	0,80	0,24	0,13	0,08	0,47
F	1,22	1,62	1,89*	6,17**	8,20**	4,00*	4,57*	8,94**	18,75**	17,33**	7,33**	1,33
d.m.s. (5%)	0,46	0,55	0,36	0,25	1,58	1,34	1,20	0,50	0,08	0,11	0,15	0,02
C.V. %	13,16	8,89	78,26	35,19	30,39	18,82	25,86	33,05	24,24	41,67	57,89	25,00

f: \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 7 - Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da galactia (*Galactia striata* Jacq. Urb.). Teores de micronutrientes e de alumínio

	Fe ppm		Cu ppm		Mn ppm		Zn ppm		B ppm		Al ppm	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	184,75	31,168	4,98	7,98	229,8	753,8	15,3	52,3	62,0	79,0	182,3	959,8
5 ppm Al	289,50	13,883	5,60	9,20	264,0	796,0	28,8	51,1	54,3	67,3	271,3	4.418,8
10 ppm Al	295,25	9,365	5,60	7,40	226,3	701,5	35,0	54,0	58,5	63,0	308,8	6.804
20 ppm Al	274,25	11,648	6,10	11,10	172,0	431,0	42,5	44,8	58,3	44,3	278,8	14.400
F	7,08**	12,41**	0,85	2,57	2,67	2,12	14,93**	0,53	0,29	3,01	3,26	54,437**
d.m.s.5%	108,28	118,65	2,1	4,26	97,65	474,24	12,56	23,14	24,51	34,92	126,80	120,59
C.V. %	29,42	61,94	17,81	26,12	24,09	37,27	38,28	20,77	18,58	31,07	27,97	79,47

F: \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 6 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral da soja perene (*Glycine wightii* Verdc. cv. Tinaroo). Teores de macronutrientes.

	% N		% P		% K		% Ca		% Mg		% S	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	2,98	2,75	1,57	1,45	3,67	3,52	2,67	2,42	0,45	0,46	0,20	0,64
5 ppm Al	2,56	2,79	0,20	0,48	3,38	3,84	2,20	1,14	0,45	0,37	0,17	0,37
10 ppm Al	2,42	2,79	0,18	0,38	3,42	3,59	2,07	0,85	0,44	0,24	0,15	0,26
20 ppm Al	2,48	3,17	0,24	0,64	4,28	2,76	1,37	0,37	0,39	0,11	0,07	0,38
F	12,67**	3,13	51,48**	9,63**	5,72*	4,33*	23,13**	4,63**	0,67	60,42**	1,33	11,28**
d.m.s. 5%	0,29	0,48	0,40	0,67	0,74	0,95	0,48	0,95	0,15	0,08	0,23	0,21
C.V. %	9,96	10,10	114,55	71,23	13,01	16,91	25,00	83,19	16,28	48,28	78,57	41,46

F: \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.



Tabela 9 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral de soja perene (*Glycine wightii*: Verdc. cv. Tinaroo). Teores de micronutrientes e alumínio.

	pp Fe		ppm Cu		ppm Mn		pp Zn		ppm B		ppm Al	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	282,8	32.402,5	5,48	13,83	239,3	1588,3	18,0	61,3	56,3	60,8	217,0	921,3
5 ppm Al	245,3	21.712,5	5,08	10,83	276,5	733,0	34,0	62,0	45,8	61,3	207,8	6725,8
10 ppm Al	246,0	9.258,5	5,10	7,10	303,8	372,5	52,3	70,5	49,8	36,0	231,8	6802,5
20 ppm Al	325,3	7.009,3	5,90	15,4	209,8	265,8	60,5	94,0	61,8	48,8	304,8	12380,0
F	3,60*	5.280,6**	1,94	2,99	1,56	9,47**	15,36**	1,12	2,61	8,94**	5,59*	22,05**
d.m.s. 5%	83,92	215,7	1,18	8,90	139,0	818,41	20,37	60,73	18,35	16,78	78,33	132,32
C.V. %	17,93	79,53	11,32	42,60	27,12	86,47	46,35	40,67	18,83	24,88	21,49	67,81

F: \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.



Tabela 11 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral do siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. siratro). Teores de micronutrientes e alumínio.

	ppm Fe		ppm Cu		ppm Mn		ppm Zn		ppm B		ppm Al	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	500,25	1898,5	7,03	17,43	92,5	617,5	20,8	38,3	47,3	211,5	289,3	587,0
5 ppm Al	391,5	2111,0	7,48	31,02	84,8	697,0	27,8	50,3	61,8	256,5	374,8	7625,5
10 ppm Al	372,5	2150,8	8,33	25,50	124,8	494,0	27,8	85,3	64,3	326,8	405,3	13763,3
20 ppm Al	437,3	1937,8	8,78	17,23	129,0	259,3	30,8	36,2	88,0	232,3	466,3	26805,0
F	0,90	0,31	4,28*	5,52*	3,96	3,15*	5,39*	9,11**	2,84	1,28	2,52	53,97**
d.m.s. 5%	251,12	885,82	1,62	11,97	47,25	429,05	11,32	31,41	42,04	186,42	194,88	6362,12
C.V. %	27,84	19,26	12,53	34,55	26,34	49,04	22,98	46,02	35,86	35,52	27,60	84,59

F \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabella 12 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral do estilosoentes (*Stylosanthes grahamii* cv. IRI 1022). Teores de macronutrientes.

	% N		% P		% K		% Ca		% Mg		% S	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	2,57	3,63	0,66	1,27	3,51	3,76	2,17	1,16	0,42	0,43	0,44	0,66
5 ppm Al	2,34	2,91	0,16	0,46	3,57	4,83	1,88	0,76	0,34	0,21	0,26	1,24
10 ppm Al	2,81	2,89	0,22	0,54	3,09	4,83	1,74	0,59	2,42	0,25	0,34	1,01
20 ppm Al	2,44	2,58	0,18	0,50	2,75	4,43	1,59	0,69	0,40	0,22	0,24	1,02
F	12,14**	7,28**	39,08**	150,0**	3,69*	8,07**	4,87	1,71*	0,37	10,00**	4,98*	2,65
d.m.s. 5%	0,25	0,85	0,17	0,78	0,84	0,93	0,48	0,48	0,19	0,15	0,17	0,78
C.V. %	8,30	15,33	73,33	52,17	15,48	11,66	16,22	31,25	23,08	35,71	34,38	35,59

F. \* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\*\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

Tabela 13 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral do estiolosantes (*Stylosanthes guianensis* Cr. (RI 1022)). Teores de micronutrientes e alumínio.

	ppm Fe		ppm Cu		ppm Mn		ppm Zn		ppm B		ppm Al	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
0 ppm Al	660,0	4305,0	3,48	19,2	90,3	584,0	25,5	52,0	70,8	83,0	475,0	727,5
5 ppm Al	583,3	2904,5	4,40	18,5	84,3	260,5	24,8	42,0	65,0	115,5	551,5	10310,0
10 ppm Al	503,0	4817,5	5,03	20,1	78,0	200,5	21,3	37,5	74,3	116,5	646,5	14125,0
20 ppm Al	506,3	2846,5	4,83	10,7	80,5	130,0	21,0	29,0	65,8	118,0	554,3	15660,0
F	0,39	2,75	1,58	0,78	0,33	42,10**	0,46	4,82*	0,34	0,85	0,28	20,79**
d.m.s. 5%	301,31	3146,58	2,29	11,40	39,23	161,97	14,39	22,84	31,58	96,07	765,68	7701,83
C.V. %	22,05	31,43	26,13	17,20	20,86	64,50	21,97	25,64	20,32	24,87	52,54	63,28

F: \* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

## CONCLUSÕES

Os sintomas de toxidez observados e o uso de análise de variância utilizando os dados da produção de matéria seca e da composição das quatro leguminosas estudadas, permitem que se chegue às seguintes conclusões:

a) As espécies pesquisadas diferem em sua resposta à adição de doses crescentes de alumínio no meio.

b) As leguminosas podem ser classificadas em sensíveis (soja e siratro) e tolerantes (galactia e estilosantes), com base nos dados de produção de matéria seca.

c) A adição de pequenas doses de alumínio à solução mostrou ser benéfica ao desenvolvimento das leguminosas estudadas, provavelmente pelo efeito imediato sobre a acidez do meio.

d) O excesso de alumínio provocou uma diminuição nas concentrações de cálcio e magnésio para todas as espécies estudadas e uma elevação na concentração de alumínio das raízes.

e) Os sintomas observados estão de acordo com os relatados em experimentos utilizando leguminosas tropicais.

## SUMMARY

FOUR TROPICAL FORAGE LEGUMES (*Galactia striata*, *Glycine withtii*, *Macroptilium atropurpureum* and *Stylosanthes guianensis*) WERE GROWN IN NUTRIENT SOLUTION UNDER VARYING LEVELS OF ALUMINUM (0,5 , 10 AND 20 PPM).

With respect to the differential tolerance between the species, the following was observed:

a) *Stylosanthes* and *Galactia* were shown to be more tolerant. In fact, the highest dry matter production in the case of the latter took place in the presence of 5 ppm of Al; growth was not affected by the higher levels of the element. *Stylosanthes* did not show toxicity symptoms, maximum growth occurring in the presence of 20 ppm of Al in the nutrient solution.

b) Both *glycine* and *Macroptilium* proved to be sensitive. Lower levels of Al increased growth of the former; its dry matter yield, however, decreased when the element was given at the levels of 20 ppm. The growth of *Macroptilium* was reduced by 20 ppm of Al.

*Glycine* showed toxicity symptoms, especially in the root system which was seriously damaged by the higher Al level.

c) Al additions caused decrease in the concentration of P, Ca, Mg and Mn in the roots and or in the tops. The Al of the root system was increased.

#### LITERATURA CITADA

ALCANTARA, P.B. & G. BUFARAH, 1979. Plantas forrageiras - Gramíneas e Leguminosas. São Paulo, Livraria Nobel S/A. 150p.

ANDREW, C.S., 1978. Legumes and acid soils. In: Limitations and potentials for biological N fixation in the Tropics. CSIRO. New York, Plenum Press, p. 139-160.

- ARTYUSHIN, A.M. & A.M. KUROCHKIN, 1969. Effect of acidity and mobile aluminum on the growth, development and hardiness of winter vetch. *Soviet Soil Science*, 2: 192-195.
- AVDONIN, N.S., 1971. Aluminum in sod-podzolic soils. *Soviet Soil Science*, 4:441-119.
- AWAD, A.S.; D.G. EDWARDS & P.J. MILHAM, 1976. Effect of pH and phosphate on soluble soil aluminum and on growth and composition of kikuiim grass. *Plant and Soil*. The Hague, 45:531-542.
- BUCKMAN, H.O. & N.C. BRADY, 1974. Natureza e propriedade dos solos. Livraria Freitas Bastos. Rio de Janeiro, 594p.
- FERRI, M.G., 1977. Ecologia dos cerrados. In: IV Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, p.15-33.
- FOY, C.D., 1976. Differential aluminum and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. In: Simpósio sobre Melhoramento das Plantas para Resistência à Toxidez de Alumínio e Manganês no Solo. *Ciência e Cultura*, 28(2):150-155.
- FOY, C.D. & J.C. BROWN, 1964. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminum tolerance of plant species. *Soil Science Society Proceedings*, 28:27-32.
- GILBERT, B.E. & PEMBER, F.R., 1930. Further evidence concerning the toxic action of aluminum in connection with plant growth. *Soil Science*, 31:267-273.
- GONZALES, E.; J.M. WOLF; G. NADERMAN; W. SOAREA & E.Z. GALRÃO, 1977. Relações entre toxidez de alumínio, desenvolvimento de raízes, absorção de água e produção de milho num oxisol (latossol vermelho escuro) do Distrito Federal. In: Simpósio sobre Melhoramento das Plantas para Resistência à Toxidez de Alumínio e Manganês no Solo. *Ciência e Cultura*, 28(2):181-182.



- GUERRIER, G., 1978. Influence de l'aluminium sur la selétivité racinaire de plantes calcicole e calcifuge. *Can. J. Bot.*, 56:1949-1952.
- HELYAR, K.R., 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities an legume growth. In: Mineral Nutrition os Legumes in Tropical and Subtropical soils. Melbourne, Austrália, p.207-231.
- HUTCHINSON, F.E. & A.S. HUNTER, 1970. Exchangeable aluminum levels in two soils as related to lime treatment and growth of six crops species. *Agronomy Journal*, 62:702-704.
- JONES, L.H., 1961. Aluminium uptake and toxicity in plants. *Plant and Soil*, 4:297-310.
- JORGENSEN, S.S., 1977. Some methods used for routine chemical analysis. Laboratory Manual. Centro de Energia Nuclear na Agricultura. Piracicaba, ESALQ/USP 22p.
- JUSTE, C. 1964. Influence du chaulage sur la phytotoxicité de l'aluminium mobile d'un sol de défriche riche en colloides menéraux. *Ann. Agron.*, 15:5-22.
- KERRIDGE, P.C., 1978. Fertilization of acid tropical soils in relation to pasture legumes. In: Mineral Nutrition of Legumes In Tropical and Subtropical Soils Melbourne, Austrália, p.395-415.
- LONG, F.L. & C.D. FOY, 1970. Plant varieties as indicators of aluminium toxicity in the A<sub>2</sub> horizon of a Norfolk soil. *Agron. Journal*, 62:679-681.
- MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. Editora Agronômica Ceres, São Paulo.

- MALAVOLTA, E.; J.R. SARRUGE & V.C. BITTENCOURT, 1977. Toxidez de alumínio e manganês. In: IV Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, p.275-301.
- MALAVOLTA, E., 1979. Deficiência de macro e micronutrientes e toxidez de Cl, Mn e Al no sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.). Curso de Pós-Graduação de Solos e Nutrição de Plantas. CENA. 12p.
- MALAVOLTA, E., 1980. Elementos de Nutrição Mineral de Plantas. Editora Agronômica Ceres, São Paulo. 251p.
- McLEAN, A.J.; R.L. HALSTEAD & B.J. FINN, 1972. Effects of lime on extractable aluminium and other soils properties and on barley and alfalfa grown in pot tests. *Can.J.Soil Science*, 52:427-438.
- McLEAN, E.O., 1976. Chemistry of soil aluminum. *Commun. in Soil Science and Plant Analysis*, 7(7):619-636.
- MENGEL, D.B. & E.J. KAMPRATH, 1978. Effect of oil pH and liming on growth and nodulation of soybeans in Histosols. *Agron. Journal*, 70:959-963.
- MONIZ, A.C., 1972. Elementos de pedologia. Editora de Universidade de São Paulo. 459p.
- OLIVEIRA, I.P., 1980. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Tese de Doutorado. ESALQ/USP. 196p.
- OLMOS, J. & M.N. CAMARGO, 1976. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. In: Simpósio sobre Melhoramento das Plantas para Resistência à Toxidez de Alumínio e Manganês no Solo". p.171-179.
- PRATT, P.F., 1966. Aluminium. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, p. 3-12.

- SALINAS, J.G. & P.A. SANCHEZ, 1976. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. In: *Simpósio sobre Melhoramento das Plantas para Resistência à toxidez de Alumínio e Manganês. Ciência e Cultura*, 28(2):156-168.
- SARTAIN, J.B. & E.J. KAMPRATH, 1976. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. *Agron. Journal*, 67:507-510.
- VIDOR, C. & J.R.J. FREIRE, 1972. Controle da toxidez de alumínio e manganês em *Glycine max* (L.) Merrill pela calagem e adubação fosfatada. *Agron. Sulriogr.*, VIII (1):73-87.
- VOSE, P.B. & P.J. RANDALL, 1962. Resistance to aluminum and manganese toxicities in plants related to variety and cation-exchange capacity. *Nature*, 196:85-86.
- WHITE, R.E., 1976. Studies on mineral ion absorption by plants. III. The interactions of aluminium, phosphate and pH on the growth of *Melilotus sativa*. *Plant and Soil*, 46:195-208.
- WHITE, R.E.; L.O. TIFFIN & A.W. TAYLOR, 1976. The existence of polymeric complex in dilute solutions of aluminium and orthophosphate. *Plant and Soil*, 45: 521-529.