EFEITOS DO ALUMÍNIO E DO MANGANÊS SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE QUATRO LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS

LIA. M. BEATRIZ F. JARDIM

Eng. Agrônoma

Orientador : Dr. EURÍPEDES MALAVOLTA

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

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho de 1984

Ao meu saudoso pai
WALTER (*in memoriam*)

À minha querida mãe
ZELINDA

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

- Ao Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, por ter me acolhido como sua orientada e ter me dado todas as facilidades para a realização deste trabalho, além de sua amizade e dedicação.
- Ao Dr. Irineu Humberto Packer, coordenador do Curso de Pós-Graduação em Nutrição Animal e Pastagens, pelo apoio e compreensão.
- Ao Dr. Max L. Vieira Bose, pelo estímulo.
- Ao Dr. Roberto Simionato de Moraes, pela ajuda nas análises estatísticas.
- Ao Eng^o Agr^o Francisco Monteiro, do Instituto de Zootecnia, Estação Experimental de Nova Odessa, pela ajuda na escolha das variedades e fornecimento das sementes.
- À Eng^a Agr^a Janice Guedes Carvalho pela valiosa colaboração.
- Às técnicas em química Cleusa Pereira Cabral e Iolanda Aparecida Rufini do Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela colaboração nas análises químicas.
- A todos que direta ou indiretamente colaboraram no êxito e confecção deste trabalho.

INDICE

	Página
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	
SUMMARY	
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Alumínio	6
2.2.1. Ocorrência.....	6
2.1.2. Fatores que influenciam a disponibi lidade do alumínio no meio	9
2.1.3. Efeitos do alumínio nos processos de desenvolvimento da planta	15
2.1.4. Seleção de variedades tolerantes ao alumínio	24
2.2. Manganês	30
2.2.1. Ocorrência	30
2.2.2. Fatores que influenciam a disponibi lidade do manganês no meio	31
2.2.3. Efeitos do manganês nos processos de desenvolvimento da planta	37
2.2.4. Seleção de variedades tolerantes ao manganês	42
3. MATERIAL E MÉTODOS	46
3.1. Seleção das espécies	
3.1.1. Obtenção de mudas	46
3.1.2. Seleção de plantas para tolerância ao alumínio	47

	Página
3.1.3. Seleção de plantas para tolerância ao manganês	49
3.2. Condução do ensaio	50
3.3. Colheita do material e preparo das amostras para análise	50
3.4. Análises químicas	51
3.5. Delineamento experimental	51
3.6. Análise estatística	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1. Seleção das espécies para tolerância ao alumínio	53
4.1.1. Sintomas de toxidez	53
4.1.2. Produção de matéria seca	56
4.1.3. Efeitos do alumínio na composição mineral	62
4.2. Seleção das espécies para tolerância ao manganês	71
4.2.1. Sintomas de toxidez	71
4.2.2. Produção de matéria seca	74
4.2.3. Efeitos do manganês na composição mineral	78
5. CONCLUSÕES	89
6. LITERATURA CITADA	92

LISTA DE TABELAS

TABELA Nº		Página
01	Produção de matéria seca da <i>Galactia striata</i> . Tratamentos + Al	56
02	Produção de matéria seca da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Tratamentos + Al	57
03	Produção de matéria seca do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Tratamentos + Al	58
04	Produção de matéria seca do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Tratamentos + Al	59
05	Efeitos de doses crescentes de alumínio sobre a produção de matéria seca da <i>Galactia striata</i> , <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo, <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro e <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Equações de regressão	60
06	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da <i>Galactia striata</i> . Teores de macronutrientes	63
07	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da <i>Galactia striata</i> . Teores de micronutrientes e alumínio	64
08	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Teores de macronutrientes	65

TABELA Nº

Página

09	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Teores de micronutrientes e alumínio	66
10	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Teores de macronutrientes.....	67
11	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Teores de micronutrientes e alumínio	68
12	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Teores de macronutrientes	69
13	Efeito de níveis crescentes de alumínio na composição mineral do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Teores de micronutrientes e alumínio	70
14	Produção de matéria seca da <i>Galactia striata</i> . Tratamentos + Mn	74
15	Produção de matéria seca da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Tratamentos + Mn	75
16	Produção de matéria seca do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Tratamento + Mn.	76

TABELA Nº

Página

17	Produção de matéria seca do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Tratamentos + Mn	77
18	Efeitos de doses crescentes de manganês, sobre a produção de matéria seca da <i>Galactia striata</i> , <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo, <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro e <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Equações de regressão	78
19	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral da <i>Galactia striata</i> . Teores de macronutrientes	81
20	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral da <i>Galactia striata</i> . Teores de micronutrientes	82
21	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Teores de macronutrientes .	83
22	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral da <i>Glycine wightii</i> cv. Tinaroo. Teores de micronutrientes	84
23	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Teores de macronutrientes	85

TABELA Nº

Página

24	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral do <i>Macroptilium atropurpureum</i> cv. Siratro. Teores de micronutrientes	86
25	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Teores de macronutrientes	87
26	Efeito de níveis crescentes de manganês na composição mineral do <i>Stylosanthes guianensis</i> cv. IRI-1022. Teores de micronutrientes	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA Nº		Página
01	Relação entre as doses de alumínio e a produção de matéria seca da parte aérea da galactia, soja perene, siratro e estilosantes	61
02	Relação entre as doses de manganês e a produção de matéria seca da parte aérea da galactia, soja perene, siratro e estilosantes	79

EFEITOS DO ALUMÍNIO E DO MANGANÊS SOBRE O DESENVOLVIMENTO
DE QUATRO LEGUMINOSAS FORRAGEIRAS TROPICAIS

Autor: LIA M. BEATRIZ F. JARDIM
Orientador: Dr. EURÍPIDES MALAVOLTA

RESUMO

Quatro leguminosas forrageiras tropicais (*Galactia striata* (Jacq) Urb., *Glycine wightii* Verdc. cv. Tinaroo, *Macroptilium atropurpureum* cv. siratro e *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz. cv. IRI 1022), conhecidas por sua aceitabilidade e boa produção de matéria seca e proteína, foram cultivadas em solução nutritiva, recebendo doses de alumínio de 0, 5, 10 e 20 ppm e doses de manganês de 0, 25, 50 e 100 ppm, separadamente. Os sintomas de toxidez e as análises de variância do peso da matéria seca das partes aéreas e das raízes permitiram classificar as espécies em relação à sua tolerância aos excessos de alumínio e manganês no meio de cultura.

Em relação ao alumínio, as leguminosas se comportaram da seguinte maneira:

a - O estilosantes e a galactia mostraram - se mais tolerantes. A galactia apresentou a máxima produção na presença de 5 ppm de alumínio, não sendo afetada pela eleva-

ção na concentração do elemento no meio. O estílosantes apresentou a máxima produção em presença de 20 ppm de alumínio, não mostrando sinais de toxidez nas raízes ou na folhagem.

b - A soja e o siratro mostraram-se sensíveis. A soja mostrou ser beneficiada pela adição de alumínio à solução, mas a produção de matéria seca decresceu em presença de 20 ppm do elemento tóxico. O siratro não apresentou variação na produção de matéria até a adição de 10 ppm de alumínio no meio, mas notou-se a queda de produção quando a concentração do elemento tóxico foi elevada para 20 ppm.

A soja mostrou sintomas mais graves de toxidez nas raízes e, conseqüentemente, nas partes aéreas das plantas. Nesta espécie, o nível mais elevado de alumínio danificou totalmente os sistemas radiculares das plantas.

Em relação ao manganês, as leguminosas apresentaram os seguintes resultados:

a - O estílosantes foi novamente o que se mostrou mais tolerante, não apresentando variação significativa na produção de matéria seca com o aumento dos teores de manganês. Não se observaram também, sintomas severos nas folhas ou nas raízes. A galactia também mostrou-se tolerante, apresentando queda significativa de produção em presença de 100 ppm de manganês e sintomas mais severos de toxidez que as apresentadas pelo estílosantes.

b - O siratro e a soja mostraram-se sensíveis ao excesso de manganês. A soja mostrou a mínima produção em

presença de 25 ppm de manganês, não havendo modificação significativa nas concentrações mais elevadas. O siratro apresentou a mínima produção de matéria seca total em presença de 50 ppm de elemento tóxico. Os sintomas de toxidez apresentados pela soja foram mais severos que os apresentados pelas plantas de siratro.

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.

A adição de manganês provocou uma diminuição nas concentrações de cálcio, potássio e magnésio nas partes aéreas ou raízes das plantas estudadas; elevação dos teores de zinco e cobre nas partes aéreas ou raízes e de manganês na planta toda.

EFFECTS OF ALUMINUM AND MANGANESE
ON THE GROWTH OF FOUR TROPICAL FORAGE LEGUMES

Author: LIA M.B.F. JARDIM

Adviser: Dr. EURÍPEDES MALAVOLTA

SUMMARY

Four tropical forage legumes (*Galactia striata*, *Glycine wightii*, *Macroptilium atropurpureum* and *Stylosanthes guianensis*) were grown in nutrient solution under varying levels of aluminum (0, 5, 10 and 20 ppm) and manganese (0, 25, 50 and 100 ppm) given separately.

With respect to Al 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 level 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.

With respect to Mn the chief results were as follows:

a) Once more *Stylosanthes* was not affected neither in terms of growth nor in terms of symptoms of toxicity. *Galactia* was relatively less tolerant: its growth was significantly reduced by 100 ppm of Mn in the substrate which also caused severe toxicity symptoms.

b) *Glycine* and *Macroptilium* were sensitive to high Mn. Growth of the former was decreased by 25 ppm, being not further reduced by higher concentrations. The Mn concentration of 50 ppm caused the highest reduction of the growth of *Macroptilium*. Toxicity symptoms were more acute in the case of *Glycine*.

With respect to the mineral composition these were the chief effects.

a) Al addition 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.

b) The addition of Mn induced a decrease in the content of K, Ca and Mg. The levels of Cu and Zn in the tops decreased whereas the Mn concentration increased in the whole plant.

1. INTRODUÇÃO

Os cerrados, no Brasil, ocupam uma área de 1.800.000 km², 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.

A topografia, o clima e a fertilidade do solo são fatores que devem ser analisados quando se estudam as limitações para a produção de forragem no cerrado.

Em geral, os cerrados se localizam em regiões de topografia plana ou levemente ondulada, com boas características físicas e condições topoclimáticas pouco severas. Os

solos são predominantemente profundos, com estrutura mal desenvolvida e textura que vai da arenosa à argilosa.

O clima não parece ter relação consistente com a ocorrência do cerrado, não se notando limitações hídricas ou de temperatura. No que se refere à insuficiência de água, a questão básica reside na distribuição inadequada de chuvas, e no elevado índice de evapotranspiração, associados à baixa capacidade de retenção de água pelo solo. De modo geral, as precipitações nas áreas do cerrado se situam ao redor de 1.300 mm anuais.

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

Os solos do cerrado são em geral Latossolos (56% do total), ou Oxissolos ácidos e ricos em óxidos de ferro e alumínio. Estes solos são extremamente deficientes em fósforo, pois o baixo valor do pH e os teores elevados de sesquióxidos de ferro e alumínio resultam em alta capacidade de retenção de fósforo sob formas pouco solúveis, de baixa disponibilidade para as plantas.

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

- a) pH baixo, compreendido entre os valores 4 e 6. O valor do pH se eleva com a profundidade do solo.

- b) Capacidade de troca de cátions (CTC) baixa, entre 2,0 e 6,0 emg/100 g de terra. A CTC tende a diminuir a profundidade do solo.
- c) Soma de bases trocáveis (S) baixa, menor que 1,0 emg/100 g de terra. Esse valor também tende a diminuir com a profundidade do solo.
- 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. Os baixos níveis de armazenamento de água são agravados pela morosidade de hidratação dos sesquióxidos e a drenagem excessiva facilita a lixiviação de nutrientes presentes ou incorporados.
- g) Presença de níveis tóxicos de manganês, que tem sua solubilidade favorecida pelas condições de baixo pH, aeração deficiente, 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 compos

tos insolúveis e inibe competitivamente a absorção do cálcio e do magnésio pelas plantas.

A disponibilidade do alumínio no solo cai mais rapidamente que a do manganês, de modo que um valor de pH suficiente para eliminar o excesso do primeiro, poderá não ser para o segundo elemento.

A utilização do cerrado para a formação de pastagens tem sido feita por meio da correção do solo pela calagem e adubação fosfatada, de acordo com as condições de fertilidade do local.

Estudos da viabilidade da utilização do cerrado para pastagem no estado natural e após correção e implantação de pastagens cultivadas, mostram que a capacidade de suporte foi elevada de 0,2 UA (unidade animal) por hectare na pastagem natural para 1,6 UA por hectare na pastagem cultivada, havendo um incremento de 9,1 vezes o número de animais do rebanho. Esse balanço, no entanto, mostrou que a adaptação dos cerrados para uso intensivo exige grande despesa em investimentos por hectare e só se torna econômica quando se consegue uma capacidade de suporte superior a 1,2 U.A. 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 a fatores de "stress" específicos dos solos ácidos, que podem ser difíceis de se corrigir. Em alguns casos, adaptar a planta ao solo pode ser mais econômico a longo prazo que adaptar o solo à planta. Para manejarmos solo e planta com o objetivo de conseguirmos a máxima produtividade, precisamos também determinar os mecanismos genéticos, fisiológicos e bioquímicos pelos quais as plantas se adaptam às diferentes condições do solo.

Baseando-se na tolerância diferencial entre espécies de plantas a níveis tóxicos de alumínio e manganês no meio, este trabalho tem por objetivo testar quatro espécies de leguminosas forrageiras e classificá-las de acordo com seu comportamento. A hipótese que se pretende confirmar é a de que as espécies tolerantes e as sensíveis apresentarão comportamentos diferenciais e característicos que permitirão classificar em grupos distintos de sensibilidade.

Para tanto, foram cultivadas quatro espécies de leguminosas tropicais: *Galactia striata*, *Glycine wightii* cv. Tinaroo, *Macroptilium atropurpureus* cv. Siratro e *Stylosanthes guianensis* cv. IRI 1022 e observados os seguintes aspectos:

- a) desenvolvimento de cada espécie tratada com doses crescentes conhecidas de alumínio e de manganês independentemente.
- b) sintomas visuais na parte aérea e raízes de cada variedade.
- c) efeito dos diferentes tratamentos sobre a composição mineral das várias espécies.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Alumínio

2.1.1. 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 (MALAVOLTA 1980). Ocorre mais comumente nos minerais primários como as micas, feldspatos e criolita, nos minerais secundários de argila e em minérios como a bauxita. O alumínio compõe 8,1; 8,2; 2,5 e 0,4% das rochas ígneas, argilosas, areníticas e calcárias, respectivamente (McLEAN, 1976).

Na superfície do solo, o total do alumínio contido é, geralmente, da mesma magnitude da litosfera mas, nos solos tropicais, ocorre em maior proporção que o silício (MALAVOLTA, 1980).

Segundo McLEAN (1976) as formas como o alumínio ocorre nos solos são as seguintes:

- a) mineral nativo: a maior parte do alumínio ocorre nos minerais de argila, em combinação octaédrica ou, em menor grau, em combinação tetraédrica com o oxigênio. Mesmo os solos relativamente bem intemperizados apresentam a maior parte do seu alumínio como constituinte dos aluminios-silicatos.
- b) hidróxidos de alumínio: esta forma aparece em quantidades relativamente pequenas, que podem variar de zero a 0,5%. Sob condições de intemperismo intenso, como as que ocorrem nos trópicos úmidos, a maior parte do hidróxi-Al aparece como gibsitá cristalina e, nestes casos, uma proporção relativamente alta do alumínio total pode estar sob esta forma.
- c) fosfato de alumínio: a maior parte do fósforo aplicado ao solo é fixado como fosfato de alumínio relativamente insolúvel. Durante os processos de intemperização, como os dois elementos, alumínio e fósforo, são solubilizados simultaneamente, de fontes separadas, forma-se o fosfato de alumínio.

Além do seu papel estrutural, o alumínio atua de várias outras maneiras, a maioria das quais afeta adversamente o solo como um meio para o desenvolvimento das raízes vegetais.

Quando é liberado da estrutura dos minerais pelos processos de intemperização, o Al^{+3} se coordena com seis

grupos OH_2 . Cada grupo OH_2 libera um íon H^+ . Alguns dos Al^{+3} , $(\text{OH}) \text{Al}^{+2}$ e $(\text{OH})_2 \text{Al}^+$ resultantes permanecem na solução do solo; outros são adsorvidos nos sítios de troca de cátions do solo e outros ainda são adsorvidos e polimerizados nas superfícies dos minerais de argila ou complexados pela matéria orgânica do solo.

• A ocorrência de alumínio tóxico nos solos abrange não só a noção de quantidades de alumínio trocável, mas também a sua localização em profundidade nos solos, ou seja, a variabilidade dos teores nos vários horizontes do solo. A maior parte dos pesquisadores preocupa-se principalmente com a presença de alumínio tóxico na camada arável do solo, mas verificou-se que solos com teores elevados de saturação de alumínio no horizonte B apresentavam produções e respostas à adubação mais baixas quanto mais elevados os níveis de saturação. (OLMOS e CAMARGO, 1975). A correção pela aplicação de cálcio na camada arável do solo não corrige os efeitos da acidez do subsolo e a aplicação de cálcio no subsolo não é economicamente viável (FREIRE, 1976).

Nos trópicos e subtrópicos, existem estudos de Juo (1977, citado por ISBELL, 1978), para um grande número de solos da África. Para valores de pH abaixo de 5,0, a saturação de alumínio varia de 35 a 40% para a superfície do solo e 50 a 60% para os sub-solos. Acima do pH 5,4, pouco alumínio está presente.

No Brasil, OLMOS e CAMARGO (1975) mostraram ní

veis de saturação de alumínio superiores a 50% em vários Oxis solos distróficos. Nos Latossolos vermelhos, que são os principais solos encontrados nos campos cerrados do Brasil, a saturação média comumente encontrada é de 79% (OLIVEIRA, 1980).

2.1.2. Fatores que influenciam a disponibilidade do alumínio no meio

A acidez do solo é o principal fator no controle do alumínio solúvel e trocável existente nos solos. Segundo MALAVOLTA (1976) o alumínio permanece em solução sob condições ácidas (pH 4,0) ou básicas (pH 9,0). Perto da neutralidade, o alumínio pode ser precipitado sob a forma de hidróxi-do.

MONIZ (1972) verificou que, em solução, a ocorrência do alumínio solúvel entre pH 5,2 e 7,5 é praticamente nula. Acima do pH 7,5 começam a aparecer aluminatos solú-veis. Deve-se considerar também que o alumínio solúvel no solo é variável mesmo em valores de pH abaixo de 5,0, uma vez que depende da natureza do solo e da concentração de eletrô-litos, cuja elevação causa o aumento da concentração de alumí-nio solúvel.

De acordo com BUCKMAN e BRADY (1974) um solo muito ácido, com pH 4,5 por exemplo, apresentará teores redu-zidos de cálcio e magnésio permutáveis, com elevada solubili-dade do alumínio, ferro, manganês e boro e pouca solubilidade

do molibdênio. Certamente haverá disponibilidade reduzida de nitrogênio e fósforo. Por outro lado, um solo com pH igual a 7,5 apresentará abundância de cálcio, magnésio e molibdênio ativos e pouco ou nenhum alumínio em concentrações tóxicas.

Magistad (1925, citado por PRATT, 1966), obteve dados que ilustraram a relação geral entre pH e alumínio solúvel tanto para solução aquosa quanto para a solução do solo. Segundo esses dados, a solubilidade mínima do alumínio está entre os valores de pH 5,8 e 7,0. Em valores de pH menores que 4,7 podem ocorrer concentrações de alumínio solúvel maiores que 3 ppm. Em solos com valores de pH entre 4,7 e 7,8 foram encontradas apenas pequenas quantidades de alumínio solúvel.

McLEAN (1976), obteve dados para a solubilidade do alumínio que mostram que entre os valores de pH 4,7 e 7,5 a solubilidade do alumínio foi bem mais baixa, devido à sua precipitação como hidróxido de alumínio relativamente insolúvel. Abaixo do pH 4,7 e acima do pH 7,5 as concentrações do alumínio em solução aumentam rapidamente, alcançando concentrações muito altas abaixo do pH 4 ou acima do pH 9,2.

Segundo FOY (1976) a toxidez do alumínio é particularmente severa abaixo do pH 5,0, mas pode ocorrer em valores altos como 5,5. Para uma dada planta, o pH crítico no qual o alumínio se torna solúvel ou trocável em concentrações tóxicas, depende de fatores do solo como a predominância de minerais de argila, o teor de matéria orgânica e a concentração de outros cátions, ânions e total de sais. A toxidez do

alumínio é particularmente séria nos subsolos fortemente ácidos de difícil correção pela calagem. ALVES e TAVARES (1974) indicam o pH 5,5 como o limite inferior da necessidade de correção do solo com o objetivo de reduzir os efeitos do alumínio solúvel. Entretanto, os mesmos autores citam trabalho de Fox (1962) relatando que a calagem de um solo a pH 5,4 reduziu o alumínio trocável a 0,2 m.e./100 g solo e para outro solo, esta redução só foi obtida em pH 6,5, o que demonstra que o efeito da calagem depende não só da acidez como da composição mineral do solo. Um dos propósitos da calagem é, portanto, imobilizar o alumínio por precipitação, reduzindo seus efeitos tóxicos.

McLEAN, HALSTEAD e FINN (1972) trabalhando com seis amostras de solo corrigidas para um valor de pH igual a 6,0 ou mais, notaram que houve eliminação do alumínio solúvel, redução do manganês e zinco solúveis, aumento do teor de nitrato e elevação da quantidade de fósforo solúvel em alguns dos solos. A calagem a um pH 5,3 reduziu grandemente o nível de alumínio solúvel.

• De acordo com KAMPRATH (1978), as concentrações de alumínio na solução do solo das regiões tropicais e subtropicais são equivalentes àsquelas das soluções nutritivas em que o crescimento das leguminosas é reduzido e as concentrações de cálcio nas soluções dos solos ácidos fertilizados estão geralmente na faixa encontrada como adequada para o crescimento das leguminosas em solução nutritiva na ausência de

alumínio. Assim, uma das principais razões para a resposta das leguminosas à calagem nos solos ácidos é a neutralização do alumínio trocável. A concentração do alumínio na solução do solo está relacionada com a proporção da CTC (capacidade de troca catiônica) efetiva que está ocupada pelo alumínio solúvel em KCl. Tem-se observado um aumento marcante na concentração de alumínio da solução do solo quando o alumínio trocável ocupa mais de 60% dos cátions trocáveis do subsolo e da superfície.

Outro fator que afeta a concentração de alumínio na solução é o nível eletrolítico. A adição de cloreto de potássio dos solos ácidos aumentou a concentração do alumínio e quadruplicou sua atividade (Brenes e Pearson, 1973, citados por KAMPRATH, 1978). Segundo PRATT (1966) os sais aumentam e a matéria orgânica diminui o teor de alumínio solúvel nos solos.

Os fertilizantes fosfatados também atuam na redução do efeito tóxico do alumínio, pela sua precipitação como fosfato de alumínio no solo e no interior das raízes (KENNETH e WRIGHT, 1943).

WHITE (1976) trabalhando com *Medicago sativa* observou que o efeito inibidor do alumínio sobre o crescimento foi muito menor em pH 5,0 que em pH 4,5, embora três a quatro vezes mais alumínio tenha sido encontrado nas raízes e regiões meristemáticas das plantas no valor de pH mais elevado. Isto demonstrou que a baixa toxidez do alumínio foi devida à

sua absorção sob a forma de complexos polímeros aluminofosfatados. O pH ótimo para a formação e polimerização destes complexos é por volta de 5,0 (WHITE, TIFFIN e TAYLOR, 1976) e sua composição depende da relação molar entre fósforo e alumínio na solução.

AWAD et alii (1976) estudando o efeito do pH e do fosfato sobre o teor de alumínio solúvel no solo e o desenvolvimento do kikuiu (*Pennisetum clandestinum* Hochst) encontraram um aumento de produção da gramínea pelo aumento do pH ou pela adição de fosfato. Em todos os valores de pH em que o alumínio foi detectado, a concentração desse elemento foi diminuída pelo aumento das aplicações de fosfato, de modo que quanto mais baixo o valor do pH, maior a diminuição causada por um dado incremento no teor de fosfato.

Esses efeitos têm comumente sido atribuídos à rápida precipitação dos fosfatos de alumínio.

AVDONIN (1971) estudando os fatores que afetam o teor de alumínio em solos da Rússia com problemas de toxidez, encontrou além dos efeitos já conhecidos da calagem como maneira de neutralizar o alumínio móvel, que os fertilizantes, especialmente quando usados por um longo período, alteram a concentração do elemento tóxico. As formas amoniais de nitrogênio, adicionadas separadamente ou combinadas com o cloreto de potássio, aumentaram o teor de alumínio móvel, enquanto o fósforo e os fertilizantes orgânicos o reduziram.

MENGEL e KAMPRATH (1978) estudando o efeito da calagem sobre o desenvolvimento da soja (*Glycine max* L. Merr.) em solos da Carolina do Norte, notaram que o pH crítico para o desenvolvimento da parte aérea, raízes e nódulos esteve na faixa de 4,6 a 4,8, valores estes alcançados pela calagem. As respostas favoráveis foram atribuídas à diminuição do teor de alumínio trocável e solúvel em água, aumento do teor de cálcio solúvel e estabelecimento de um pH favorável à atividade do *Rhizobium*.

Em vários solos ácidos, apresentando concentrações de alumínio entre 2 e 4 ppm, ANDREW e JONES (1978) observaram que as concentrações de cálcio na solução do solo eram de cerca de 5 ppm, enquanto a concentração ótima para a máxima absorção de fósforo se situa ao redor de 8-10 ppm em ausência de alumínio. Nos solos testados, a relação entre cálcio e alumínio era de aproximadamente 1 : 1, enquanto nos solos produtivos e férteis a relação era da ordem de 40 : traços.

A influência do nível de matéria orgânica do solo sobre os efeitos da alta saturação em alumínio são discutidos por MENGEL e KAMPRATH (1978). Nos solos orgânicos o valor de pH crítico para o desenvolvimento da soja é mais baixo que nos solos minerais, o que pode ser atribuído a vários fatores. Os teores de alumínio na solução dos solos orgânicos têm-se mostrado mais baixos a um valor de pH 5 do que nos solos minerais, devido provavelmente à formação de complexos estáveis alumínio- matéria orgânica de baixa solubilidade (Sch

nitzer e Skinner, 1973 citados por MENGEL e KAMPRATH, 1978). Tem sido também demonstrado que os complexos alumínio - matéria orgânica solúveis não são tão prontamente absorvidos pelas plantas quanto o hidróxido de alumínio.

2.1.3. Efeitos do alumínio nos processos de desenvolvimento da planta

GILBERT e PEMBER (1930) evidenciaram o efeito prejudicial do alumínio cultivando plântulas de alface e cevada em soluções com valores de pH variáveis e teores crescentes de alumínio, observando que a produção de matéria seca esteve mais estreitamente associada ao nível do elemento tóxico que à acidez.

A relação entre teor de alumínio e produção da parte aérea ocorre usualmente na forma de um declínio exponencial no crescimento com os níveis crescentes do elemento. Quando se usam espécies mais tolerantes, nota-se um pequeno estímulo na produção por níveis baixos de alumínio, com o declínio exponencial aparecendo em níveis mais altos de toxidez (HELYAR, 1978).

O crescimento reduzido das plantas nos solos ricos em alumínio tem sido atribuído, entre outras causas, à deficiência de fósforo causada pela sua precipitação no solo, como fosfato de alumínio insolúvel ou à interferência nos processos metabólicos no interior da planta (KENNETH e WRIGHT,

1943). Este último efeito tem sido especificamente atribuído à precipitação do fosfato de alumínio no interior das raízes bloqueando fisicamente os sítios de absorção para o fosfato ou à inibição da esterificação do fosfato inorgânico no citoplasma das células radiculares (WHITE, 1976).

Os efeitos do alumínio sobre a concentração de fósforo na parte aérea variam com as espécies, mas de modo geral, a redução do teor na parte aérea é acompanhada por uma elevação da concentração de fósforo nas raízes (ANDREW, 1978).

KENNETH e WRIGHT (1943) cultivaram cevada em solução nutritiva completa e contendo 8 ppm de alumínio. As plantas cultivadas em solução tóxica sofreram redução de cerca de 73,15% em sua produção e apresentaram maior porcentagem de fósforo total que as plantas novas, o que indica que o fósforo não foi utilizado nos processos metabólicos. Uma parte foi precipitada nas raízes, tendo-se encontrado 2,3% de fósforo nas plantas com toxidez e 1,7% nas plantas normais.

Por outro lado, tem-se verificado um efeito estimulante de baixas concentrações de alumínio (cerca de 20 μm) na absorção de fósforo e algumas vezes no crescimento de uma série de plantas, como por exemplo, várias leguminosas tropicais. A demonstração de respostas positivas do crescimento ao alumínio e da eficiência do fosfato de alumínio coloidal como fonte de fósforo, sugere que complexos de alumínio e fósforo podem ser absorvidos pelas plantas. Tem-se sugerido que o alumínio e o fósforo podem entrar passivamente nas raízes

como um íon complexo de carga positiva baixa ou como uma molécula neutra, em valores de pH tão baixos quanto 3,5 (WHITE, 1976).

Embora não seja essencial ao desenvolvimento das plantas, sob certas condições, pequenas quantidades de alumínio podem estimular seu crescimento indiretamente. Liebig et alii (1942, citado por PRATT, 1966) observaram que 0,5 ppm de alumínio eliminaram o efeito tóxico de 0,1 ppm de cobre em soluções nas quais eram cultivadas estacas de laranja e limão. Os benefícios do alumínio no crescimento do Rododendro, Franklinia, Vaccinium, e outras plantas calcífugas ou acidófilas são atribuídos aos efeitos indiretos associados à diminuição do pH ou, em alguns casos, à eliminação de organismos patogênicos.

Os danos causados pelo alumínio móvel podem ser agravados ou amenizados pelo nível de nutrição da planta, principalmente em cálcio e fósforo.

O efeito inicial do alumínio na composição da parte aérea das plantas, é uma redução na concentração de cálcio (FOY e BROWN, 1964). Para as raízes, o efeito inicial é um abaixamento da concentração de cálcio nas raízes em relação à parte aérea, demonstrando que o alumínio afeta a absorção e a subsequente translocação do cálcio (ANDREW, 1978).

Trabalhando com kikuiu (*Pennisetum clandestinum* Hochst) AWAD et alii (1976), encontraram uma relação inversa entre o crescimento das plantas e a concentração de alumínio,

quando este apareceu em excesso de 1,5 $\mu\text{g/g}$ de solo e 90 $\mu\text{g/g}$ de parte aérea. Nos níveis em que o alumínio causou sérias reduções de produção, a concentração de cálcio na parte aérea alcançou níveis de deficiência. O antagonismo entre alumínio e cálcio foi demonstrado pela redução na absorção do nutriente, causada pela elevação da concentração de alumínio solúvel, mantendo-se constantes o pH e o nível de cálcio trocável.

SARTAIN e KAMPRATH (1976) utilizando a soja (*Glycine max* L.) observaram que a calagem exerceu efeito positivo sobre o peso seco da parte aérea, promoveu a formação das raízes laterais e aumentou o número de nódulos, estando altamente relacionada com o teor de cálcio das raízes primárias. A elevação do nível de saturação em alumínio de 4% para 28% e 81% reduziu significativamente o número e o tamanho das folhas. O peso da matéria seca da massa radicular diminuiu com a calagem, mas houve aumento na relação comprimento/g de raiz, bem como na relação parte aérea/raiz. Sob condições de alta saturação em alumínio, desenvolveu-se um pequeno número de nódulos radiculares aparentemente inativos, enquanto que sob condições favoráveis, formou-se um grande número de nódulos pequenos mas efetivos.

Para as leguminosas, a nodulação em suas fases de infecção, crescimento radicular e eficiência nodular, é sensível à deficiência de cálcio e, portanto, afetada pelo ex

cesso de alumínio e manganês no meio (MUNNS, 1978; ANDREW, 1978).

JUSTE (1964) utilizando plantas de cevada e milho investigou o efeito da calagem e dos sais minerais sobre a fitotoxidade do alumínio móvel. Independentemente dos sais minerais aplicados, a calagem proporcionou um incremento de 60% a 90% no peso seco da parte aérea e de 100% nas raízes. Houve um pequeno decréscimo na concentração de alumínio acompanhado por uma diminuição na concentração de fósforo, principalmente nas raízes.

HUTCHINSON e HUNTER (1970) notaram restrição no crescimento da alfafa e da cevada quando o alumínio móvel ocupou aproximadamente 25% da capacidade de troca catiônica do solo, apresentando resposta positiva à calagem.

GONZALES et alii (1976) trabalhando com milho em solo do cerrado, observaram que a adição de calcário e a eliminação de níveis tóxicos de alumínio até a profundidade de 30 cm de solo dobrou o crescimento radicular por unidade de volume do solo, permitindo a absorção mais efetiva de água e nutrientes pela planta.

GUERRIER (1978) estudando a influência de doses crescentes de alumínio na absorção e adsorção de nutrientes pela *Vicia faba minor* (calcícola) e *Lupinus luteus* L. (calcífuga), demonstrou que a seletividade na adsorção ocorre somente para as espécies calcícolas. Houve uma diminuição na CTC radicular com a elevação das doses de alumínio em razão

de uma modificação estrutural nos sítios de troca. Verificou-se um efeito benéfico do alumínio nas doses de 15 ppm para o *Lupinus* e 8 ppm para a *Vicia faba*. Além dessa concentração, houve diminuição do rendimento das raízes, que sofreram um encurvamento e espessamento. Para as duas espécies notou-se uma redução na capacidade de absorção dos cátions estudados, podendo-se concluir que para o cálcio, o alumínio exerceu uma inibição competitiva e para o potássio na *Vicia faba* e o magnésio no *Lupinus*, a inibição foi não competitiva.

Os sintomas de toxidez, caracterizados por alterações fisiológicas e morfológicas, manifestam-se tanto na parte aérea quanto nas raízes das plantas cultivadas em presença de níveis tóxicos de alumínio.

O efeito sobre as raízes é caracterizado por uma desorganização celular no ápice e nos elementos vasculares (MCLEAN, 1976). A região meristemática da ponta da raiz mostra um número muito elevado de células binucleadas, o que indica haver inibição da divisão celular (MALAVOLTA, 1976; MONIZ, 1972). O alumínio fixa o fósforo na superfície e no interior das raízes, interfere com as reações enzimáticas, governando a deposição de polissacarídeos nas paredes celulares e interfere com a absorção, transporte e utilização de elementos como o cálcio, magnésio e fósforo. O elemento se acumula dentro ou fora das raízes mas geralmente não é translocado para a parte aérea. Segundo WHITE (1976) o alumínio inibe a mitose pela indução da síntese de DNA metabolicamente instá

vel, interfere com o metabolismo do ferro no núcleo ou inibe a elongação celular pela coagulação de ácidos pectícos nas paredes das células jovens.

Dados de ARTYUSHIN e KUROCHKIN (1969) com ervilha em solo e em solução nutritiva, relatam que os níveis mais altos de alumínio (8 a 12 mg Al/l) inibiram o crescimento radicular e aumentaram sua concentração em fósforo; o peso das plantas foi diminuído, bem como o teor de fósforo nas folhas. As doses intermediárias (4 a 8 mg Al/l) aumentaram o peso e o tamanho das raízes e as doses mais baixas (2 a 4 mg Al/l) resultaram em um ligeiro aumento no teor de nitrogênio e açúcares totais sobre o controle.

VIDOR e FREIRE (1972) observaram que o efeito da toxidez de alumínio num solo ácido foi bastante evidente sobre a nodulação da soja (*Glycine max* L. Merrill), determinando a redução do peso dos nódulos. Concentrações altas do elemento causaram um decréscimo na produção de grãos, que foi corrigido pela aplicação de fósforo.

Em experimentos realizados na Universidade de Moscou, com várias espécies de plantas, AVDONIN (1971) concluiu que a toxidez é mais prejudicial nos primeiros estágios de vida da planta, seguindo-se o inverno como segundo período crítico. A taxa de fertilização de plantas caiu de 89% para 31,8% em presença de alumínio móvel, houve diminuição de 50% no peso das sementes e aumento da porcentagem de grãos vazios, o que demonstra o efeito prejudicial do alumínio sobre os pro

cessos reprodutivos de algumas plantas. A análise dos órgãos individualmente mostrou que a maior quantidade do elemento se acumula nas raízes, chegando a ser 3,5 a 85 vezes superior às das folhas, dependendo da espécie. Observou-se também que houve inibição da conversão de monossacarídeos a dissacarídeos e outros componentes mais complexos e da conversão do nitrogênio não proteico em substâncias proteicas. Para o trigo, milho, alfafa e cevada, notou-se que o alumínio inibe a atividade da invertase e esta, das enzimas proteolíticas que atuam negativamente na síntese de carboidratos e proteínas. Houve queda na qualidade do glúten do trigo, alteração da fração proteica, redução do teor de albuminas e globulinas, aumento do teor de gliadinas e redução do conteúdo de caroteno e ácido ascórbico, além de uma diminuição na formação de clorofila.

• Em condições de campo, a toxidez do alumínio é de difícil diagnose, pois os sintomas se manifestam de forma característica nas raízes das plantas, com reflexos pouco específicos na parte aérea. Em solução nutritiva, os sintomas visuais e o teor de alumínio nas raízes podem ser utilizados na diagnose, embora os hábitos de crescimento radicular não sejam iguais em ambos os meios (PRATT, 1966).

• No solo, as plantas intoxicadas têm seu sistema radicular prejudicado, ocasionando a exploração de menor volume de solo com consequente deficiência na absorção de nutrientes e água do solo (OLMOS e CAMARGO, 1976).

• Segundo MALAVOLTA (1977) as raízes das plantas

intoxicadas apresentam inicialmente uma coloração parda; as raízes laterais param de crescer e em seguida todo o sistema radicular tem seu desenvolvimento paralisado. As pontas das raízes podem escurecer e se tornarem mais grossas, dando ao conjunto o aspecto de uma formação de corais. As raízes que se desenvolvem no colo são numerosas mas morrem ao atingir a solução. Aparecem algumas raízes laterais engrossadas com ramificações finas e ocorre uma queda na eficiência de absorção de água e nutrientes (FOY, 1976).

Os sintomas visuais da parte aérea são semelhantes aos da deficiência de fósforo (MALAVOLTA, 1976; HELLYAR, 1978).

FOY e BROWN (1964) observaram que o milho e a mostarda tratados com excesso de alumínio apresentaram cor púrpura, que se tornou mais pronunciada à medida que aumentou a concentração de alumínio. A cevada e a aveia mostraram clorose e murchamento das folhas a partir das pontas e coloração púrpura na base das plantas. As raízes das plantas sensíveis como a cevada, tornaram-se curtas e grossas com pequenas ramificações.

Em algumas plantas, a toxidez de alumínio pode produzir efeitos parecidos com uma deficiência induzida de cálcio ou um problema na translocação deste elemento.

LONG e FOY (1970) usaram duas variedades de cevada (*Hordeum vulgare* L., emend Lam.) e duas variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) como indicadores da toxidez de

alumínio em um solo ácido. A variedade de cevada mais sensível (*Kearney*), no tratamento sem calagem, apresentou menor produção que a variedade mais tolerante (*Dayton*). Suas raízes se mostraram esparsas, marrons e sem viço. As folhas mais novas apresentaram enrolamento e eventual colapso dos pecíolos, sintomas de deficiência de cálcio.

De acordo com Goodland (1971, citado por FERREI, 1977) parte do escleromorfismo característico da vegetação do cerrado é causado pela toxidez do alumínio. As plantas apresentam caules lenhosos, folhas coriáceas, límbos verde-amarelados quando secos e frutos azulados, que são característicos de plantas acumuladoras de alumínio.

2.1.4. Seleção de variedades tolerantes ao alumínio

As plantas diferem marcadamente em sua resposta aos níveis tóxicos de alumínio entre as espécies e entre variedades de uma mesma espécie, (FOY e BROWN, 1964). Essas diferenças são controladas geneticamente e permitem uma alternativa promissora à aplicação de calcário e fertilizantes fosfatados nas regiões onde as condições de baixa fertilidade prejudicam a utilização do solo para culturas ou pastagens cultivadas. A seleção, de modo geral, favorece características como raízes mais profundas e efetivas na absorção de água e nutrientes nos subsolos ácidos; menor exigência em fósforo e maior tolerância à acidez por controle fitossanitário ou outras razões (FOY, 1976).

No Brasil, o melhoramento genético para resistência ao alumínio vem sendo praticado desde 1925 com a cultura do trigo (SILVA, 1976). Em algumas variedades de trigo a tolerância à toxidez é controlada por um único gene, mas em outras, dois ou três genes podem estar envolvidos (FOY, 1976).

Os mecanismos de tolerância das plantas à toxidez de alumínio podem ser resumidos em duas classes: mudanças induzidas nos níveis do elemento tóxico ao redor das suas raízes ou variações específicas de tolerância a uma dada concentração de alumínio (McLEAN, 1976; HELYAR, 1978). Variedades tolerantes de trigo, cevada e arroz elevam o pH do solo ou da solução nutritiva na zona das raízes e assim, reduzem a solubilidade do alumínio. Desta maneira, dentro de certos limites, as plantas podem modificar o ambiente próximo às suas raízes em seu próprio benefício, regulando também a solubilidade e disponibilidade dos elementos de que necessita (FOY, 1976).

Algumas plantas toleram grandes quantidades de alumínio livre, transportando-o para a parte aérea e são classificadas como acumuladoras. De acordo com Goodland (citado por FERRI, 1977) as plantas do cerrado foram selecionadas por sua tolerância ao alumínio, sendo acumuladoras facultativa ou obrigatoriamente e chegando a apresentar teores da ordem de 1000 ppm do elemento na matéria seca.

Chenery (1955, citado por PRATT, 1966) notou que o chá crescia melhor em solos contendo mais de 2,8m.e. de

alumínio solúvel por 100 g de solo e todas as plantas saudáveis absorviam fortemente o elemento.

A tolerância da azaléia tem sido associada à retenção do excesso do alumínio nas raízes, impedindo seu transporte para a parte aérea. Para o trigo, acontece o contrário, e as variedades sensíveis possuem maior CTC, acumulando o elemento tóxico em suas raízes. Em certas plantas de pastagens, a tolerância superior coincide com a maior eficiência na absorção e transporte de fósforo e cálcio.

Segundo MALAVOLTA (1976) e MONIZ (1972), dependendo da espécie, a toxidez se manifesta quando a concentração de alumínio em solução vai de 0,5 a 16 ppm, mas como regra, 1 ppm já é tóxico. Para HELYAR (1978) os níveis para que ocorra toxidez de alumínio variam de 1 a 40 μ M de alumínio.

McLean e Gilbert (1927, citado por PRATT, 1966) classificaram 12 culturas de acordo com sua sensibilidade ao alumínio em solução nutritiva em sensíveis (afetadas por 2 ppm de alumínio); intermediárias (afetadas por 7 ppm de Al) e tolerantes (afetadas por 14 ppm de Al).

OLIVEIRA (1980) estudando o comportamento de 38 variedades de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em níveis variáveis de alumínio, classificou como tolerantes as variedades que apresentaram máxima produção na presença de 14 a 16 ppm de alumínio; medianamente sensíveis, as que apresentaram mínimos de produção em presença de 14 a 15 ppm de

Al e sensíveis as que apresentaram mínimos de produção entre 2 e 9 ppm de Al na solução.

VOSE e RANDALL (1962) trabalhando com 20 variedades de *Lolium perene* e *Lolium multiflorum* cultivadas em sílica com solução nutritiva e 50 ppm de alumínio, concluíram que a resistência à toxidez independe da origem geográfica e do tipo de solo no qual as variedades foram originariamente desenvolvidas e que as variedades anuais e bienais tendem a ser mais resistentes. Em todas as variedades testadas, a resistência esteve associada à baixa capacidade de troca catiônica das raízes.

Os dados existentes sobre a capacidade de troca de cátions das plantas cultivadas, indicam que as espécies mais exigentes em fertilidade do solo apresentam uma CTC mais alta que as menos exigentes. 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. A baixa CTC favorece a absorção de cátions monovalentes e divalentes, o que explica a associação dessa característica à toxidez de íons polivalentes, como o alumínio e o manganês (VOSE e RANDALL, 1962). Essas afirmações são confirmadas por HUTCHINSON e HUNTER (1970) com dados obtidos para seis espécies de gramíneas e leguminosas com tolerâncias variáveis ao excesso de alumínio.

FOY e BROWN (1964) estudando o comportamento de várias espécies em solução e em amostras de solo, associaram

a tolerância diferencial ao alumínio à capacidade das plantas absorverem e utilizarem o fósforo na presença de alumínio em excesso. Os danos causados nas partes aéreas das plantas testadas foram acompanhados por uma redução na absorção do P^{32} pelas folhas. Aumentos na concentração de alumínio reduziram também a absorção de P^{32} pelas raízes das plantas. Observou-se uma grande diferença entre as plantas em sua capacidade de desenvolver suas raízes em meio rico em alumínio móvel. Os mecanismos que controlam o grau de tolerância nas diferentes espécies podem ou não envolver as quantidades de ácidos orgânicos encontrados nas plantas, principalmente o cítrico e o oxálico, que podem atuar como agentes quelantes na inativação do alumínio tóxico (JONES, 1961).

SARTAIN e KAMPRATH (1970) utilizaram a elongação das raízes e as características de crescimento como indicadores da tolerância ao alumínio em variedades de soja (*Glycine max* L.). As variedades Hampton, Pickett 71, Bragg, Hardee e Hill apresentaram a máxima elongação radicular no nível de 0,25 ppm de alumínio na solução e as demais tiveram seu nível crítico com 0,5 ppm. Em um solo com 81% de saturação em alumínio, as variedades Lee, Bragg e Pickett, produziram mais matéria seca que a Dare e Davis. Houve tendência para variedades com maior elongação apresentarem melhor desenvolvimento, pela sua capacidade de explorar melhor o solo.

FLEMING, SCHWARTZ e FOY (1974) avaliando a resposta de duas gramíneas (*Eragrotis curvula* e *Festuca arundinā*

ceã) observaram que para a espécie mais sensível (*festuca*), o excesso de alumínio foi associado à diminuição de produção, a decréscimos acentuados nas concentrações de cálcio e magnésio e a aumentos nas concentrações de potássio e fósforo na parte aérea.

As leguminosas para pastagens cultivadas em solos ácidos, têm sido selecionadas por sua capacidade de crescer sob condições de alto teor de alumínio e baixos níveis de fósforo, cálcio e magnésio. Algumas espécies dos gêneros *Centrosema*, *Desmodium*, *Macroptilium*, *Pueraria* e *Stylosanthes* são tolerantes às condições de acidez, mas existem variações entre espécies do mesmo gênero (KERRIDGE, 1978). O gênero *Stylosanthes* spp. apresenta bom desenvolvimento onde o nível de fósforo disponível é baixo; o *Stylosanthes humilis* tolera altas concentrações de alumínio e alguns cultivares de *Stylosanthes guianensis* apresentam pouca resposta à calagem (ALCANTARA e BUFARAH, 1979). A *glycine wightii* e *Medicago sativa* são leguminosas mais sensíveis (SALINAS e SANCHES, 1976).

ANDREW (1978) relata os resultados de um experimento onde foram comparadas as produções de leguminosas em presença de 0; 0,5; 1 e 2 ppm de alumínio. A adição de até 2,0 ppm do elemento na solução não afetou a produção de matéria seca do *Macroptilium lathyroides*, *Latononis bainesii* ou *Stylosanthes humilis*. O *Desmodium uncinatum* teve sua produção diminuída apenas pelo nível de 2 ppm e a *Glycine wightii* e *Medicago sativa* foram severamente prejudicadas em todos os

tratamentos. Entre as espécies de região temperada, *Medicago trunculata* e *Medicago scutellata* foram afetadas em todos os tratamentos; *Trifolium repens* e *Trifolium semipilosum* foram afetados com a adição de 2 ppm de alumínio e o *Trifolium ruepellianum* não foi afetado significativamente. As espécies tolerantes, principalmente as tropicais, apresentaram um estímulo na produção com a adição de 0,5 ppm de alumínio, com exceção da *Glycine wightii*. Houve redução na concentração de cálcio da parte aérea e aumento da concentração de fósforo nas raízes.

2.2. Manganês

2.2.1. Ocorrência

O manganês aparece na litosfera na proporção de 1000 partes por milhão (MONIZ, 1972), sendo o micronutriente mais abundante depois do ferro, mas ocorrendo em quantidades menores nas rochas, solos, plantas e animais (LABANAUSKAS, 1966). Nos solos brasileiros, ocorre na faixa de 10 a 4000 ppm de manganês total ou 0,1 a 100 ppm de manganês solúvel em acetato de amônio (MALAVOLTA, 1980). É encontrado em minerais primários ferro magnesianos, minerais secundários como pirrolusita (MnO_2) e manganita ($MnOH$), nódulos de óxido de manganês e de ferro e na matéria orgânica sob a forma de quelados pouco estáveis.

No solo, os cátions manganês são encontrados com três valências, que se mantêm em equilíbrio. As variações de uma valência para outra estão na dependência das condições do solo, como a acidez, o potencial de oxi-redução, o grau de umidade e aeração, o teor de matéria orgânica e a atividade dos microorganismos (BUCKMAN e BRADY, 1974). A redução do MnO_2 é feita pelos *Thiobacillus* e a oxidação, pelos gêneros *Helminthosporium*, *Culvularia*, *Periconia* e *Cephalosporium* (MALAVOLTA, 1976).

O manganês é absorvido pelas plantas como Mn^{+2} . As formas Mn^{+3} e Mn^{+4} são menos móveis. Considera-se disponível o Mn^{+2} trocável e o existente na solução do solo, onde se encontra como complexo solúvel com ácidos orgânicos. O Mn^{+3} chamado "ativo" também é considerado disponível (MALAVOLTA, 1980).

2.2.2. Fatores que influenciam a disponibilidade do manganês no meio

O manganês, como os outros cátions micronutrientes, apresenta maior solubilidade e disponibilidade sob condições ácidas (BUCKMAN e BRADY, 1974). Situações de carência podem acontecer em solos calcários, com pH elevado. Em solução, sabe-se que a elevação de uma unidade no valor do pH diminui em 100 vezes a concentração do elemento. O excesso de matéria orgânica no solo, os períodos de seca prolongados,

as baixas temperaturas do solo e os altos teores de fósforo, cobre e zinco são condições favoráveis ao aparecimento de deficiência (MALAVOLTA, 1980). Por outro lado, o aparecimento de quantidades tóxicas do elemento pode ser causado por condições de acidez elevada do solo, pela aeração deficiente ou excesso de umidade decorrentes do encharcamento pela chuva ou irrigação em demasia e pelo uso de fertilizantes acidificadores ou sais de manganês (LABANAUSKAS, 1966; MALAVOLTA, 1976).

FREIRE (1975) observou a influência do pH e do nível de cálcio na adsorção do manganês pela argila. A liberação foi aumentada pela acidez e diminuída pelo fornecimento de cálcio. Os teores de manganês trocável remanescente no solo foram menores nos tratamentos com dose completa de cálcio, independentemente do pH e os teores de manganês total só apresentaram diferença significativa em relação ao pH. Dados de JONES e NELSON (1978) relatam que a calagem de um solo ácido até pH 5,5 ou mais reduziu significativamente a concentração de manganês extratível, baixou a concentração foliar do elemento, eliminou os efeitos tóxicos e incrementou a produção de diferentes cultivares de soja (*Glycine max* L.).

HEENAN e CARTER (1975) obtiveram resultados semelhantes do efeito do pH e de níveis de cálcio sobre a soja. A elevação do fornecimento de cálcio diminuiu a concentração do manganês na parte aérea das plantas, ocorrendo melhora nos sintomas de toxidez e aumento na produção apenas nos níveis mais altos de cálcio no substrato. No valor de pH 6,5 houve

precipitação do manganês tanto para o tratamento com 5 ppm do elemento quanto para o de 15 ppm, mas não se observou efeito marcante do pH sobre as concentrações de manganês, cálcio e ferro nas partes aéreas das plantas ou no desenvolvimento de sintomas de toxidez.

Em um solo ácido de pH 4,5-4,8, SIMAN et alii (1971) observaram que a adição de calcário corrigiu a toxidez de manganês enquanto a aplicação de sulfato de amônio acidificou o solo, elevando os níveis de manganês no solo e nas plantas e agravando os sintomas de excesso. DAHIYA e SINGH (1977) observaram também que a adição de carbonato de cálcio ao solo diminuiu a disponibilidade de todas as formas de manganês solúvel, o mesmo ocorrendo quando se adicionou ferro sob a forma de sulfato ferroso.

TRUONG et alii (1971) estudaram o efeito da aplicação de cálcio e fósforo em cinco leguminosas cultivadas com diferentes níveis de manganês e observaram que o fornecimento de cálcio diminuiu os efeitos da toxidez enquanto o fósforo agravou. O efeito do fósforo se deu pelo aumento da disponibilidade de manganês no solo e da absorção do elemento pelas plantas. Segundo os autores, a aplicação do cálcio como carbonato de cálcio (CaCO_3) suavizou os efeitos da toxidez e a aplicação como sulfato de cálcio (CaSO_4) ou cloreto de cálcio (CaCl_2) produziu efeito contrário, devido provavelmente, à ação dos íons acompanhantes sobre a disponibilidade do manganês ou o metabolismo das plantas. Essas afirmações foram fei

tas também por SOUTO e DÖBEREINER (1969) para duas variedades de soja (*Glycine javanica*): a aplicação de fósforo e CaSO_4 estimulou a absorção do manganês, enquanto o CaCO_3 elevou o pH do solo, insolubilizando o manganês em excesso. O gesso aumentou ainda, a translocação do manganês para a parte aérea.

Em outro experimento, TRUONG et alii (1971) estudaram os efeitos do molibdênio e do pH do solo sobre a toxicidade do manganês, concluindo haver influência marcante apenas do pH, relacionado inversamente com a disponibilidade do elemento no solo. Os pequenos efeitos positivos do molibdênio sobre a produção de algumas leguminosas foram relacionados à eficiência de fixação do nitrogênio simbioticamente e não à redução da disponibilidade do manganês.

PREVOT et alii (1955) relataram que em um solo deixado a descoberto após sete ciclos consecutivos de cultivo de amendoim, os níveis de manganês foram elevados a até 1.170 ppm no solo e 4000-5000 ppm nas plantas cultivadas posteriormente, com uma queda de produção de 2.400 para 875 kg de grãos por hectare. Os autores atribuem esse efeito à destruição do complexo orgânico do solo nu e à diminuição do valor do pH. As plantas afetadas apresentaram teores elevados de nitrogênio, fósforo e potássio e abaixamento do teor de magnésio. A aplicação de corretivos sulfatados agravou a toxidez e a aplicação de calcário magnesiano foi benéfica.

CHENG e OUELLETTE (1971) observaram, em cultu

tura de batatas, uma correlação negativa do teor de matéria orgânica, nitrogênio total e relação carbono/nitrogênio com o manganês trocável do solo; correlação positiva da relação manganês/ferro e negativa da relação cálcio/manganês com os índices de toxidez e correlação positiva entre as relações manganês/ferro no solo e na planta.

Os efeitos da matéria orgânica foram também pesquisados por DÖBEREINER e ALVAHIDO (1966) sobre a toxidez de manganês em feijão. Foram utilizadas doses crescentes de matéria orgânica (casca de arroz ou casca de arroz mais grama fresca), de argila e de sacarose, bactérias oxidantes do manganês, revestimento calcário da semente e calagem do solo. Os resultados mostraram que todos os tratamentos com matéria orgânica diminuíram a absorção do manganês e aumentaram a produção de matéria seca. Em seguida vieram os tratamentos com argila e bactérias oxidantes por ordem de eficiência. O revestimento das sementes e a calagem também reduziram a toxidez, mas a sacarose apresentou efeito inverso, pelo abaixamento do pH ou pela queda do potencial de redução.

BROMFIELD (1978) relata que as bactérias oxidantes do manganês diminuíram a absorção dos íons manganosos e óxidos de manganês na aveia cultivada em solução. O abaixamento do pH favoreceu a absorção do manganês devido à inibição da oxidação bacteriana e ao aumento da disponibilidade de formas reduzidas.

Em trabalho com alfafa, GRAVEN et alii (1965)

observaram que a irrigação aumentou o nível de manganês trocável no solo e o teor do elemento nas plantas. A calagem promoveu a imobilização do manganês quando as relações de umidade normais se restabeleceram. No solo sem calagem, setenta e duas horas de irrigação elevaram a concentração de manganês da alfafa de 426 para 6.000 ppm com o excesso se acumulando nas folhas e pontos de crescimento.

MORAGHAN e FREEMAN (1978) observaram problemas de toxidez mangânica em um solo calcário, concluindo ser este fenômeno, decorrente da irrigação e do nível de ferro presente, pois a adição de Fe-EDDHA, causou o aumento da produção, eliminou os sintomas e evitou o acúmulo do manganês nas partes aéreas de plantas de linho.

O efeito da temperatura sobre a manifestação da toxidez mangânica foi abordado por HEENAN e CARTER (1977) em experimento com duas variedades de soja (*Glycine max* L.) tratadas com 15 ppm de manganês e sob dois regimes de temperatura: 21°C dia/18°C noite e 33°C dia/28°C noite. Sob as temperaturas mais baixas, ambas as variedades apresentaram redução na produção, sintomas de toxidez e concentrações mais baixas do elemento tanto na parte aérea quanto nas raízes. A elevação da temperatura eliminou os efeitos prejudiciais e causou um aumento na concentração de manganês nas partes da planta, o que levou à conclusão de que a tolerância não está associada aos níveis mais baixos de absorção.

O efeito da intensidade luminosa foi pesquisa-

do por SUTTON e HALLSWORTH (1958) com alfafa. As plantas cultivadas sob alta temperatura e alta luminosidade apresentaram sintomas de toxidez que foram amenizados quando foi diminuída a intensidade luminosa. Quando foram aplicadas baixas temperaturas e alta luminosidade, os sintomas foram iguais aos observados em condições de alta temperatura, o que demonstrou um efeito mais pronunciado da intensidade de luz.

Segundo WILLIAMS e VLAMIS (1957) a adição de silicato de sódio ou o aumento da concentração de sais na solução nutritiva abrandaram ou evitaram o aparecimento de sintomas de toxidez de manganês em cevada. Os sais de cálcio, magnésio e potássio foram antagônicos ao manganês, reduzindo sua concentração nos tecidos, mas o silicato apenas reprimiu os sintomas evitando a acumulação localizada sem alterar as concentrações de manganês na planta.

2.2.3. Efeitos do manganês nos processos de desenvolvimento da planta

O manganês é um elemento micronutriente, satisfazendo tanto o critério direto quanto o indireto de essencialidade às plantas.

Segundo EPSTEIN (1975); MALAVOLTA (1976, 1980); BUCKMAN e BRADY (1974) o manganês exerce funções metabólicas vitais atuando como ativador enzimático, participa da síntese

proteica, atua na fotossíntese, na multiplicação celular e na formação e funcionamento dos cloroplastos, onde ocorre em altas concentrações.

Absorvido pelas plantas como Mn^{+2} , o manganês encontra-se, nas raízes, em três reservatórios distintos (MALAVOLTA, 1976):

- a) trocável, que é removido por eletrólitos;
- b) lábil, onde se encontra em equilíbrio com o Mn^{+2} do meio e se movimenta para a parte aérea;
- c) não-lábil, de onde se movimenta lentamente para a parte aérea.

Nos solos calcários, com valores elevados de pH, pode ocorrer deficiência de manganês, provocando nas plantas, sintomas que variam de uma espécie para outra. De modo geral, os sintomas aparecem primeiramente nas folhas mais novas, que apresentam clorose internerval semelhante à deficiência de ferro. Podem aparecer manchas necróticas ou deformações em algumas espécies, quando os folíolos apresentam a superfície enrugada e os bordos voltados para baixo. Em casos mais severos, ocorre diminuição no crescimento (EPSTEIN, 1975; MALAVOLTA, 1976; DANTAS, 1978).

Nos solos ácidos, mal drenados ou pobres em matéria orgânica o excesso de manganês pode ser prejudicial ao desenvolvimento das plantas. De acordo com LABANAUSKAS (1966) as concentrações de manganês capazes de afetar o crescimento

vegetal são muito variáveis. De modo geral, quantidades superiores a 1000 ppm na matéria seca prejudicam as funções normais.

Em soja perene (*Glycine max* L. Merrill) VIDOR e FREIRE (1972) observaram que o menor rendimento em grãos ocorreu quando a concentração de manganês situou-se em torno de 40 ppm e que a calagem e a adubação fosfatada pesada anularam os efeitos negativos sobre a nodulação e a produção de grãos. O aumento da concentração de manganês no substrato causou um decréscimo acentuado na produção de matéria seca e um incremento na concentração do nutriente nas raízes.

Segundo FREIRE (1976) a relação entre cálcio e manganês absorvidos é fator de influência marcante sobre o rendimento, a manifestação de toxidez e a nodulação de leguminosas.

De acordo com MALAVOLTA (1976) o manganês inibe fortemente a absorção do magnésio, principalmente nos solos pobres em cálcio. As plantas afetadas pela toxidez poderão apresentar altos teores de fósforo e potássio nos tecidos.

Em soja, REDDY et alii (1978) relatam que altas concentrações de manganês inibem a absorção do zinco, sendo o efeito mais severo quando a concentração na solução atinge 15 ppm. Os resultados sugerem que o manganês interfere pela competição pelos mesmos sítios de absorção e pela inibição fisiológica do transporte do zinco das raízes para a parte aérea.

SOMERS et alii (1942) concluíram que as plantas de soja desenvolvem-se normalmente quando a relação entre ferro e manganês se encontra entre 1,5 e 2,5. Abaixo de 1,5 os sintomas são semelhantes aos da deficiência de ferro ou toxidez de manganês. Quando os valores estão acima de 2,5 os sintomas exibem a característica de toxidez de ferro ou deficiência de manganês.

Ao contrário do alumínio, o excesso de manganês produz sintomas mais definidos e se acumula na parte aérea das plantas, podendo reduzir o desenvolvimento radicular indiretamente, como consequência dos danos foliares. A toxidez se caracteriza pela clorose marginal e distorção das folhas mais novas, associadas com o acúmulo localizado dentro do tecido foliar. Quando a toxidez é severa, as raízes se tornam marrons, mas sô após a danificação das folhas. Bioquimicamente, o excesso de manganês tem sido associado com a destruição da auxina (ácido indolacético) em algodão e com o desbalanceamento de amino-ácidos na batata (FOY, 1976).

MORRIS e PIERRE (1949) estudaram o comportamento de 5 leguminosas em presença de níveis de manganês variando de 0,1 ppm (controle) a 10 ppm na solução, e observaram que todas as espécies, em maior ou menor grau, foram afetadas nesta faixa de concentrações. Os sintomas de excesso variaram entre as espécies: o trevo doce e o amendoim apresentaram as margens foliares cloróticas; a lespedeza apresentou além destes sintomas, manchas distribuídas pelo limbo foliar; a soja

mostrou áreas irregulares de cor verde-pálido entre os vasos e no caupi, pequenas manchas vermelho-púrpura apareceram sobre toda a folha. As concentrações mais elevadas do elemento tóxico foram encontradas nas folhas das plantas afetadas.

LEVEQUE e BELEY (1959) observaram, em amendoim, as seguintes reações a níveis de manganês variando de 0,2 a 20 ppm ao nível de 5,0 ppm na solução, as plantas apresentavam pequenas manchas marrons nas margens das folhas adultas. O mesmo ocorreu ao nível de 10 ppm, mas as manchas ocuparam dois terços da margem foliar superior. Ao nível de 15 ppm as manchas alcançaram até 9 mm do limbo foliar e no tratamento com 20 ppm o limbo foliar se dissecou, as folhas jovens se deformaram e enrugaram. As concentrações mais altas perturbaram o crescimento, retardaram ligeiramente a floração, inibiram a fecundação e atrasaram a maturação dos frutos; a absorção de nitrogênio, cálcio e magnésio foi estimulada e a de potássio e cálcio foi diminuída.

FLEMING et alii, observaram tolerância na *Eragrostis curvula* e *Festuca arundinacea* até o nível de 32 ppm de manganês em solução. Acima dessa concentração o crescimento foi um pouco prejudicado, mas não apareceram sintomas foliares. Sob os tratamentos de 32 e 64 ppm a *Festuca* apresentou mudança na coloração das raízes do branco para o marrom.

HEENAN e CARTER (1976) obtiveram redução na produção de quatro cultivares de soja com 15 ppm de manganês na solução. Nos cultivares mais sensíveis (Bragg e Dare), os sin

tomas iniciais de toxidez foram uma clorose leve e manchas de finidas nas folhas novas. Com a maturação, as margens foliares se curvaram e a superfície se tornou enrugada. Os cultivares Lee e Custer apresentaram sintomas semelhantes mas de menor intensidade.

2.2.4. Seleção de variedades tolerantes ao manganês

As espécies e variedades de plantas diferem em sua tolerância ao excesso de manganês. O milho e o arroz são mais tolerantes que a soja, cevada, trevo doce e caupi. Entre as variedades, têm sido encontradas diferenças entre leguminosas tropicais, clones de alfafa e cultivares de trevo, algodão e trigo. Algumas plantas apresentam tolerância tanto ao excesso de manganês quanto de alumínio, enquanto outras mostram tolerâncias opostas aos dois elementos (FOY, 1976).

A tolerância diferencial entre variedades de soja estudadas por HEENAN e CARTER (1976) mostrou ser determinada principalmente pelo genótipo da parte aérea, que controla o acúmulo de íons nas folhas. Esta afirmação foi confirmada por BROWN e JONES (1977) em experimento semelhante. Ambos observaram que a variedade Bragg é mais sensível às altas concentrações de manganês, apresentando sintomas mesmo quando é cultivada sobre porta-enxerto da variedade Lee, que mostrou-se tolerante.

Segundo FOY (1976) a tolerância da alfafa ao manganês tem sido atribuída a genes aditivos com pequena ou nenhuma dominância.

CARTER et alii (1975) estudaram a tolerância de 30 genótipos de soja, que mostram grande variação entre si, quando cultivados em solução nutritiva contendo 0,1 a 20 ppm de manganês. As variedades Hill, Dare, Davis, Delmar e Bragg foram muito sensíveis, enquanto Custer, Lee, Amredo e Hawkeye foram bastante tolerantes.

OLIVEIRA (1980) estudando a produção de matéria seca total, da parte aérea e das raízes de 38 variedades de feijão, classificou-as em dois grupos, de acordo com sua tolerância às concentrações de manganês variando de 0 a 120 ppm na solução de cultura: sensíveis (apresentando mínimos de produção entre 72 e 99 ppm de manganês) e medianamente sensíveis (apresentando mínimas em solução contendo de 102 a 118 ppm de manganês).

A maior tolerância de uma leguminosa à toxidez de manganês, segundo MORRIS e PIERRE (1949) é provavelmente, devida à quantidade de manganês absorvido pela planta e à sua capacidade de suportar as altas concentrações absorvidas. Em experimento com cinco leguminosas, a ordem de acordo com a sensibilidade observada, foi lespedeza, trevo, soja, caupi e amendoim. A lespedeza e o caupi absorveram quantidades maiores de manganês; o trevo e o amendoim, quantidades menores.

De acordo com FOY (1976) os mecanismos de to-

lerância para certas plantas parecem estar associados à menor absorção do elemento, como para o arroz, ou à imobilização do excesso do elemento nas raízes ou outras partes das plantas, onde é fisicamente separado dos sítios metabólicos principais.

A relação entre cálcio e manganês no tecido constitui, segundo FREIRE (1976) um bom índice para a seleção de materiais quanto à tolerância ao manganês do solo. Em solos sem calagem as variedades mais sensíveis absorvem menos cálcio e mais manganês que as de maior tolerância; com calagem, a absorção de manganês varia pouco, mas a de cálcio é mais baixa para as variedades mais tolerantes. MORRIS e PIERRE (1949) observaram que, entre duas variedades de lespedeza, a mais tolerante (L 6) apresentou menor exigência em cálcio associada à maior tolerância ao manganês solúvel, quando comparada com a variedade mais sensível (L 39).

As leguminosas tropicais têm-se mostrado mais eficientes em extrair o cálcio do solo que as de regiões temperadas (TRUONG et alii, 1971).

SOUTO e DOBEREINER (1969) estudaram a tolerância de leguminosas forrageiras ao excesso de manganês *Centrosema pubescens*, *Pueraria javanica*, *Glycine wightii* var. SP- 1, *Glycine wightii* var. Tinaroo, *Stylosanthes gracilis* e *Macropodium atropurpureus* cv. siratro foram cultivadas em solo com 0, 50, 100 e 200 ppm de manganês aplicados como sulfato ($MnSO_4$). A *Centrosema pubescens* mostrou ser a mais tolerante, enquanto as outras foram afetadas já pelo nível de 50 ppm de

manganês. Em seguida vieram *Pueraria javanica* e *Glycine wightii* var. SP-1. As outras espécies se mostraram mais sensíveis, pela ordem *Glycine wightii* var. Tinaroo, *Stylosanthes gracilis* e *Macroptilium atropurpureus* cv. Siratro.

Em experimento de TRUONG et alii (1971) com quatro leguminosas tropicais: *Glycine wightii*, *Macroptilium atropurpureus* cv. Siratro, *Stylosanthes humilis* e *Centrosema pubescens*, o alto fornecimento de cálcio aliviou a toxidez do manganês absorvido, enquanto a aplicação de fósforo aumentou a absorção. Houve uma interação entre manganês e fósforo na planta que pode ter influenciado a produção de matéria seca, especialmente para o *Stylosanthes humilis*. O gênero *Stylosanthes* tem se mostrado pouco exigente em fósforo e capaz de absorvê-lo mais eficientemente em solos deficientes do elemento (KERRIDGE, 1978; RUSSEL, 1978).

Em outro experimento comparando a susceptibilidade de duas variedades de *Glycine wightii* (SP-1 e Tinaroo), SOUTO e DOBEREINER (1969) observaram vantagens na variedade SP-1, que apresentou maior produção de forragem, nodulação e fixação de nitrogênio. A variedade Tinaroo absorveu mais manganês que a SP-1, mas não houve diferenças na translocação do elemento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Seleção das espécies

Foram escolhidas quatro leguminosas forrageiras tropicais, cujas sementes foram fornecidas pelo Instituto de Zootecnia da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo - Estação Experimental de Nova Odessa, conhecidas por sua boa produção de matéria seca e proteína, boas qualidades de consorciação e aceitabilidade pelos animais.

- Galactia (*Galactia striata*)
- Soja perene (*Glycine wightii* Verdc cv. Ti naroo).
- Siratro (*Macroptilium atropurpureum* DC cv. Siratro).
- Estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv. IRI 1022).

3.1.1. Obtenção de mudas

A fase experimental deste trabalho foi desen-

volvida no Laboratório da Seção de Nutrição de Plantas do CE-NA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura.

As sementes, após desinfecção por meio de lavagem com solução de hipoclorito de sódio diluído a 1 + 10 e água destilada, foram postas para germinar em vermiculita umidada 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 casa de vegetação, recebendo a solução de sulfato de cálcio todas as vezes em que a superfície do meio de cultura se mostrou seca. Quando as plantas atingiram cerca de 10 cm de altura, foram transplantadas para bandejas com capacidade para 30 litros, contendo solução nº 1 de HOAGLAND e ARNON (1950) diluída à metade, com arejamento por meio de tubos de plástico ligados ao encanamento de ar comprimido.

Cinco dias depois, as plantinhas de soja apresentaram sintomas evidentes de toxidez de manganês, com pequenas pontuações marrons espalhadas pelo limbo foliar, e a solução nutritiva foi diluída a 1/4. As plantas permaneceram nesse meio por mais 15 dias, quando foram transplantadas para vasos individuais definitivos, dando-se início aos tratamentos.

3.1.2. Seleção de plantas para tolerância ao alumínio

Usaram-se vasos de 2,5 litros de capacidade onde as plantas foram cultivadas em solução nº 1 de HOAGLAND e

ARNON (1950) modificada em relação à concentração de fósforo (aplicado como KH_2PO_4) 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 para a seleção das plantas foram os seguintes:

Níveis	Concentração Al
Al_0 (completo)	0 ppm
Al_1	5 ppm
Al_2	10 ppm
Al_3	20 ppm

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

Solução estoque	Al_0	Al_1	Al_2	Al_3
KH_2PO_4 M	1	0,1	0,1	0,1
KNO_3 M	5	5	5	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ M	5	5	5	5
MgSO_4 M	2	2	2	2
Sol. Fe-EDTA	1	1	1	1
Sol. "a"	1	1	1	1
$\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ M	0	1	2	4

3.1.3. Seleção de plantas para tolerância ao Manganês

As plantas foram cultivadas em solução nº 1 de HOAGLAND e ARNON (1950). Os micronutrientes foram fornecidos por meio da solução "a" sem manganês e o ferro, como Fe-EDTA. O manganês foi fornecido como cloreto de manganês tetra hidratado ($\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Os tratamentos aplicados foram os seguintes:

Níveis	Concentração - Mn
Completo	
Mn ₀	0 ppm
Mn ₁	25 ppm
Mn ₂	50 ppm
Mn ₃	100 ppm

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

Solução estoque	Mn ₀	Mn ₁	Mn ₂	Mn ₃
KH_2PO_4 M	1	1	1	1
KNO_3 M	5	5	5	5
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ M	5	5	5	5
MgSO_4 M	2	2	2	2
Sol. Fe-EDTA	1	1	1	1
Sol. "a" - Mn	1	1	1	1
$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	0	5	10	20

3.2. Condução do ensaio

O ensaio foi desenvolvido em duas etapas, com duas variedades cada. As plantas, após serem transplantadas para vasos de plástico de 2,5 l de capacidade, foram fixadas às tampas com auxílio de espuma de plástico e permaneceram em solução nutritiva recebendo arejamento durante quatro semanas para os tratamentos com excesso de manganês e durante seis semanas para os tratamentos com excesso de alumínio.

As soluções foram trocadas a cada duas semanas e o volume dos vasos completados com água destilada diariamente.

Todas as espécies apresentaram ataque por ácaros. Como medida de controle, foi feita a 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.

3.3. Colheita do material e preparo das amostras para análise

As plantas foram colhidas 30-45 dias após o início dos tratamentos e suas raízes destacadas à altura do colo e lavadas em água corrente e 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, obtendo-se os dados para o peso da matéria seca das raízes e partes aéreas. Em seguida, as plantas foram trituradas em moinho e as amostras guardadas em saquinhos plásticos para análises químicas.

3.4. 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, ferro, manganês e zinco: espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com JORGENSEN, 1977

Boro: Espectrometria de plasma induzido em argônio.

Enxofre: Turbidimetria por injeção em fluxo contínuo.

3.5. Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi o de blocos

ao acaso com quatro repetições, sendo cada planta considerada uma repetição.

3.6. Análise estatística

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

Os dados de produção de matéria seca foram submetidos a análise de variância e análise de regressão, de acordo com PIMENTEL (1976), bem como os dados das concentrações dos elementos tóxicos em relação às doses aplicadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Seleção das espécies para tolerância ao alumínio

4.1.1. Sintomas de toxidez

a. Galactia: não se observaram diferenças significativas entre as plantas do tratamento completo e as do tratamento com 5 ppm de alumínio. Os dois tratamentos produziram folhagem normal, de coloração verde escura. Os sistemas radiculares das plantas recebendo alumínio se mostraram mais cheias, volumosas e ramificadas que as do tratamento completo.

O tratamento com 10 ppm de alumínio de solução produziu plantas mais desenvolvidas que os tratamentos anteriores. As folhas apresentaram maior produção de massa verde e sua coloração foi um pouco mais clara que a observada nas plantas-controle. Notou-se maior número de brotos e ramificações e os folíolos das folhas mais novas apresentaram clorose leve.

O sistema radicular foi particularmente beneficiado, apresentando um volume quase três vezes superior ao do tratamento completo. As raízes se mostraram mais ramificadas, cheias e claras.

Sob o tratamento de 20 ppm de alumínio, notou-se uma diminuição visível no desenvolvimento foliar. Houve pouca ramificação no caule, as plantas foram mais baixas e a folhagem menos densa. As folhas mais novas mostraram clorose leve, as mais velhas apresentaram clorose intensa e pontuações espalhadas pelo limbo foliar. Observou-se queda posterior das folhas danificadas. O sistema radicular também foi o mais danificado, apresentando comprimento menor que o do tratamento completo. As raízes secundárias se tornaram grossas e curtas, dando aparência de volume lateral ao sistema radicular. Notou-se um elevado número de ramificações pequenas na altura do colo da planta.

b. Soja perene: o desenvolvimento da parte aérea e das raízes, nesta espécie, seguiu os mesmos padrões observados para a galactia. O tratamento com 10 ppm de alumínio estimulou o crescimento, notando-se também neste caso o aparecimento de clorose e pontuações escuras nas folhas mais velhas. O crescimento radicular foi notável.

Esta espécie, entretanto, foi a que apresentou maiores danos quando 20 ppm de alumínio foram fornecidas. As plantas apresentaram crescimento muito reduzido em altura, com ramificação lateral pouco intensa. Notou-se clorose intensa, aparecimento de manchas escuras e queda das folhas mais velhas. O sistema radicular foi seriamente afetado. As raízes praticamente não se desenvolveram em comprimento, tornando-se grossas e curtas. As raízes secundárias quase não cresceram, aparecendo em forma de pontas engrossadas, o que deu ao conjunto o aspecto coralóide, descrito na literatura por MALAVOLTA (1977).

c. Siratro: esta espécie seguiu os mesmos padrões já observados. Os sintomas só foram visíveis no tratamento com 20 ppm de alumínio que causou redução no desenvolvimento das partes aéreas. Esta espécie mostrou, além da clorose observada para as outras plantas, necrose das margens e pontas de algumas folhas. O sistema radicular foi bastante danificado, com raízes laterais curtas e engrossadas, como se tivessem sido quebradas.

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

Entre os tratamentos, o estilosantes não mostrou diferenças significantes entre os tratamentos Al_0 , Al_1 e Al_2 . Entretanto, sob o tratamento Al_3 (20 ppm Al) esta espécie foi a que melhor 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. Para todas as espécies houve efeito estimulante de determinadas concentrações de alumínio no meio.

4.1.2. 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 ₀ - 0 ppm Al	2,39 b	0,68 b	3,07 b
Al ₁ - 5 ppm Al	9,52 a	1,27 b	10,79 a
Al ₂ - 10 ppm Al	9,80 a	1,95 a	10,75 a
Al ₃ - 20 ppm Al	8,24 a	2,01 a	10,25 a
F	32,43**	160,60**	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 wightii* Verdc. cv. Tinaroo em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte aérea	Raiz	Total
Al ₀ 0 ppm Al	1,81 c	1,12 c	2,93 b
Al ₁ 5 ppm Al	10,14 a	1,79 c	11,93 a
Al ₂ 10 ppm Al	10,48 a	2,65 b	13,13 a
Al ₃ 20 ppm Al	4,92 b	1,19 c	6,11 b
F	30,17**	11,11**	31,37**
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 Al₃.

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

Tratamento		Parte aérea	Raiz	Total
Al ₀	0 ppm	14,93 a	3,48 a	18,41 a
Al ₁	5 ppm	11,27 a	2,02 a	13,29 a
Al ₂	10 ppm	12,45 a	2,68 a	15,13 a
Al ₃	20 ppm	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 estatisticamente 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 Al₀, Al₁ e Al₂ na produção de matéria seca do siratro. O tratamento Al₃ 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 Al₂ em relação ao Al₁, mas não houve diferença significativa estatisticamente.

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

Tratamento		Parte aérea	Raízes	Total
Al ₀	0 ppm	3,28 ab	0,57 a	3,85 ab
Al ₁	5 ppm	3,08 ab	0,41 a	3,49 ab
Al ₂	10 ppm	2,05 b	0,21 a	2,26 b
Al ₃	20 ppm	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_0 , Al_1 e Al_2 não diferiram estatisticamente entre si. Houve uma ligeira queda do tratamento Al_0 para o Al_1 e para o Al_2 , mas sem significância estatística. O tratamento Al_3 (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 da *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	$Y = 14,930 - 1,603X + 0,2130X^2 - 0,00775X^3$
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.

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

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.

4.1.3. Efeitos do alumínio na composição mineral

Os resultados obtidos estão contidos nas tabelas 6 a 14.

Os dados constantes nas tabelas 6 e 7 indicam que, para a galactia, a adição de alumínio na solução provovou 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.

O estilosantes (Tabelas 12 e 13) mostrou dimi-

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	
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
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
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
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
F		7,08**	12,41**	0,85	2,57	2,67	2,12	14,93**	0,53	0,29	3,01
d.m.s. 5%		108,28	118,69	2,1	4,26	97,65	474,24	12,56	23,14	24,51	34,92
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 8 - 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**	14,63**	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 da soja perene (*Glycine wightii* Verdc. cv. Tinaroo). 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	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	12.380,0
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	215,71	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 10 - Efeitos de níveis crescentes de Al na composição mineral do siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. siratro). 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	2,74	3,11	0,43	0,90	2,75	4,18	2,09	0,92	0,70	0,34	0,09	1,03
5 ppm Al	2,87	3,56	0,10	0,51	3,56	3,01	1,58	1,09	0,51	0,26	0,16	0,50
10 ppm Al	2,90	3,13	0,10	0,73	3,19	4,38	1,73	1,02	0,56	0,26	0,16	0,59
20 ppm Al	3,06	3,40	0,12	0,52	3,89	3,21	1,65	0,56	0,62	0,16	0,18	1,05
F	9,33**	3,17	1,43	1,38	6,06**	1,25	4,07*	5,00*	3,21	4,00*	0,22	15,87**
d.m.s. 5%	0,18	0,50	0,57	0,65	0,84	2,58	0,48	0,44	0,19	0,15	0,37	0,29
C.V. %	4,84	9,09	78,95	50,00	17,01	34,05	16,48	31,11	18,33	36,00	26,67	36,71

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	36,8	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.

Tabela 12 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral do estílosantes (*Stylosanthes guianensis* 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	0,42	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*	7,71**	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 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 13 - Efeito de níveis crescentes de Al na composição mineral do estilosantes (*Stylosanthes guianensis* cv. IRI 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	600,00	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	594,3	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.

nuição 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.

4.2. Seleção das espécies para tolerância ao manganês

4.2.1. Sintomas de toxidez

a. Galactia: esta espécie mostrou sintomas leves de deficiência de manganês no tratamento Mn_0 . As plantas apresentaram tamanho normal e as folhas mais novas mostraram clorose internerval branda. O sistema radicular teve o crescimento um pouco reduzido, com aparência de mais ralo que o do tratamento completo. Quando submetidas ao tratamento Mn_2 (25 ppm de Mn) as plantas já mostraram crescimento bem reduzido. As folhas mais novas ficaram levemente cloróticas, com pontuações escuras ao longo das bordas. As folhas intermediárias tiveram suas pontas encurvadas para baixo, mas sem pontuações. O sistema radicular foi aparentemente normal. Os mesmos sintomas se fizeram presentes nas plantas cultivadas

em presença de 50 ppm de manganês, mas com maior intensidade. As folhas intermediárias apresentaram, além do limbo e do encurvamento para baixo, pontuações marrom escuro bem definidas.

No tratamento Mn_3 (100 ppm Mn) houve queda abundante de folhas. O tamanho das plantas foi bem menor que o apresentado nos outros tratamentos. Os folíolos das folhas mais novas mostravam clorose intensa, enrugamento, enrolamento, pontos marrons grandes em toda a sua extensão e acabavam caindo. O sistema radicular foi comprido mas muito fino, de cor marrom escura.

b. Soja perene: as plantas cultivadas em ausência de manganês foram menores que as testemunhas. As folhas mais novas se tornaram cloróticas, com a aparência reticulada. As raízes mostraram-se bem menos densas, mais finas e escurecidas.

As plantas que receberam 25 ppm de manganês mostraram tamanho intermediário entre os tratamentos Mn_0 e completo. Algumas folhas mais novas se apresentaram afetadas, exibindo os sintomas já descritos para a galactia. O tratamento Mn_2 (50 ppm) agravou estes sintomas. As folhas mais novas se tornaram quase brancas. As pontuações evoluíram para necrose das bordas e a seguir da folha toda. Houve queda das folhas afetadas. As raízes se tornaram mais escuras, finas e menos ramificadas. O tratamento Mn_3 (100 ppm Mn) provocou que

da quase total das folhas. As folhas não chegavam a crescer muito, tornando-se logo cloróticas, deformadas, necróticas e caindo. As hastes se tornaram ressecadas e as raízes muito finas, compridas, com poucas ramificações, escuras e de aparência pegajosa e sem viço.

c. Siratiro: os sintomas de deficiência foram iguais aos apresentados pelas outras espécies, bem como os sintomas de toxidez nos dois níveis mais baixos de manganês na solução. O tratamento Mn_3 reduziu bastante a produção de massa verde e provocou intensa queda de folhas. Os sintomas foram graves e semelhantes aos observados nas outras leguminosas. O sistema radicular mostrou ramificações curtas, volume reduzido e aparência melada e pegajosa, com coloração escura.

d. Estilosantes: os sintomas de deficiência foram menos severas para esta espécie. O tratamento Mn_1 não provocou sinais visíveis de toxidez, que se manifestaram em pequena proporção no tratamento Mn_2 . Quando submetida ao tratamento Mn_3 esta leguminosa foi a que melhor se comportou. Os sintomas foram semelhantes aos descritos anteriormente, mas um pouco menos severos. O aparecimento de clorose e pontuações foi seguido pela queda das folhas afetadas. As raízes apresentaram-se escuras, moles e pegajosas.

Sintomas semelhantes aos observados são descritos por MORRIS e PIRRE (1949) com trevo, amendoim, lespedeza e soja; HEENAN e CARTER (1976) em quatro variedades de soja (*Glycine max* L.); FLEMING et alii (1974) em *Eragrostis curvula* e *Festuca arundinacea* e FOY (1976).

4.2.2. Produção de matéria seca

Os dados da produção de matéria seca das quatro espécies estudadas estão relacionadas nas Tabelas 14, 15, 16 e 17.

Tabela 14 - Produção de matéria seca da *Galactia striata* (Jacq) Urb, em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte aérea	Raízes	Total
Completo	2,39 a	0,68 a	3,07 a
Mn ₀ - 0 ppm Mn	1,51ab	0,24 b	1,75 ab
Mn ₁ - 25 ppm Mn	2,66 a	0,28ab	2,94 a
Mn ₂ - 50 ppm Mn	1,79 ab	0,20 b	2,00 ab
Mn ₃ - 100ppm Mn	1,13 b	0,18 b	1,30 b
F	3,22*	3,22*	4,95**
C.V. %	44,74	44,74	42,53
d.m.s. (5%)	1,43	0,43	1,41

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

F - indica variação significativa entre os tratamentos ao nível de 5% (*) ou 1% (**).

A tabela 14 demonstra que a deficiência de man ganês afetou a produção de matéria seca da parte aérea e das raízes da galactia, igualando-a estatisticamente às produções observadas nos tratamentos Mn₂ e Mn₃.

Tabela 15 - Produção de matéria seca da *Glycine wightii* Verdc cv. Tinaroo, em g/planta. Média de 4 repetições.

Tratamento	Parte aérea	Raízes	Total
Completo	1,81 a	1,12 a	2,93 a
Mn ₀ 0 ppm Mn	1,00 b	0,23 b	1,23 b
Mn ₁ 5 ppm Mn	0,74 b	0,17 b	0,91 b
Mn ₂ 10 ppm Mn	0,71 b	0,14 b	0,85 b
Mn ₃ 20 ppm Mn	0,58 b	0,14 b	0,72 b
F	10,69**	3,85*	14,52**
C.V. %	54,64	43,75	34,13
d.m.s. (5%)	0,61	0,71	0,98

- 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% (**)

Pelos dados da tabela 15, observa-se que o tra tamento completo diferiu estatisticamente ao nível de 5% de todos os outros tratamentos. Adicionando-se manganês ao meio observou-se que a produção de matéria seca das partes aéreas e raízes atingiu seu mínimo no tratamento Mn₁, não se modificando com a elevação da concentração do elemento tóxico. O exces

so de manganês afetou a produção de soja em todos os níveis estudados.

Tabela 16 - Produção de matéria seca do *Macroptilium atropurpureum* cv. siratro, em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento	Parte aérea	Raízes	Total
Completo	14,93 a	3,48 a	18,41 a
Mn ₀ 0 ppm Mn	11,07 b	1,73 ab	12,80 b
Mn ₁ 5 ppm Mn	7,61 c	1,77 ab	9,38 c
Mn ₂ 10 ppm Mn	4,24 d	1,28 b	5,52 d
Mn ₃ 20 ppm Mn	3,91 d	1,34 b	5,25 d
F	146,49**	3,97**	67,76**
C.V. %	52,22	59,90	50,54
d.m.s. (5%)	1,57	1,86	2,69

- 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% (**).

Os dados de produção da parte aérea e total indicam ter havido superioridade do tratamento completo que diferiu estatisticamente do tratamento Mn₀ e este, dos demais tratamentos. A adição de manganês diminuiu a produção em todos os níveis estudados. O tratamento Mn₂ (50 ppm) proporcionou uma produção de matéria seca próxima do mínimo não diferindo significativamente da produção obtida pelo tratamento Mn₃.

Tabela 17 - Produção de matéria seca do *Stylosanthes guianensis* (Aubl.) Swartz cv. IRI 1022, em g/planta. Médias de 4 repetições.

Tratamento		Parte aérea	Raízes	Total
Completo		3,28 a	0,57 a	3,85 a
Mn ₀	0 ppm Mn	3,44 a	0,36 ab	3,80 a
Mn ₁	5 ppm Mn	3,04 a	0,46 a	3,50 a
Mn ₂	10 ppm Mn	2,69 a	0,39 ab	3,08 a
Mn ₃	20 ppm Mn	1,58 a	0,14 b	1,72 a
F		1,04	2,50	1,25
C.V. %		52,14	36,17	46,79
d.m.s. (5%)		2,98	0,31	3,04

- 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 17, os dados de produção do estilosantes indicam sua tolerância às elevações na concentração de manganês do meio. O peso da matéria seca total e da parte aérea não diferiu estatisticamente entre o tratamento completo e os demais tratamentos o que indica não ter havido diferença significativa de produção com a elevação dos teores de manganês.

As doses de manganês utilizadas e as produções de matéria seca da parte aérea das quatro espécies foram submetidas a análise de regressão, obtendo-se as equações relacionadas na tabela 18.

Tabela 18 - Efeito de doses crescentes de manganês sobre a produção de matéria seca da *Galactia striata* (Jacq) Urb, *Glycine wightii* Verdc cv. tinaroo, *Macroptilium atropurpureum* cv. siratro e *Stylosanthes guianensis* (Aubl) Swartz cv. IRI 1022.

Espécie	Equações de regressão
Galactia	$Y = 1,51 + 0,110X - 0,00304X^2 + 0,000019X^3$
Soja	$Y = 0,999 - 0,0175X + 0,00034X^2 - 0,000002X^3$
Siratro	$Y = 11,07 - 0,1197X - 0,00116X^2 + 0,0000164X^3$
Estilosantes	$Y = 3,44 - 0,0702X + 0,00197X^2 - 0,0000146X^3$

X = doses de manganês em ppm.

Y = produção de matéria seca em g/planta.

As equações relacionadas na tabela 18 estão representadas na figura 2, que ilustra graficamente o efeito das doses de manganês sobre a produção de matéria seca da parte aérea das quatro leguminosas estudadas.

4.2.3. Efeitos do manganês na composição mineral

Os resultados obtidos estão contidos nas tabelas 19 a 26.

Os dados constantes das tabelas 19 e 20 mostram que, para a galactia, a elevação dos níveis de manganês na solução provocou uma diminuição na concentração de fósforo e cálcio nas raízes e partes aéreas, e de potássio e enxo-

Figura 2. Relação entre as doses de manganês e a produção de matéria seca da parte aérea da galactia, soja perene, siratro e estilosantes.

fre nas raízes; a concentração de zinco foi elevada na parte aérea e as de cobre e manganês o foram para a planta toda.

A soja perene (Tabelas 21 e 22) apresentou teores decrescentes de fósforo em toda a planta com as doses mais elevadas de manganês, teores menores de potássio, cálcio, magnésio, enxofre e boro nas raízes; concentrações mais elevadas de zinco e cobre nas partes aéreas e de manganês em toda a planta.

O siratro (Tabelas 23 e 24) quando submetido ao excesso de manganês, teve diminuídas as concentrações de cálcio nas raízes e partes aéreas, potássio e enxofre nas raízes e magnésio nas partes aéreas; aumentados os teores de potássio e enxofre nas partes aéreas, cobre e boro nas raízes e manganês e zinco em toda a planta, em relação ao tratamento completo.

O estilosantes tratado com altas doses de manganês mostrou elevação nos teores de fósforo, ferro, cobre e magnésio nas raízes em relação ao tratamento completo e de manganês em toda a planta. (Tabelas 25 e 26)

Os dados obtidos estão de acordo com FREIRE (1976), MORRIS e PIERRE (1949) e TRUONG et alii (1971) para os efeitos do manganês sobre a absorção de cálcio, com MALAVOLTA (1976) para os efeitos sobre a absorção de magnésio e REDDY et alii (1978) para os efeitos da toxidez manganica sobre a absorção de zinco.

Tabela 19 - Efeito de níveis crescentes de Mn 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
Completo	3,55	3,33	0,52	0,81	5,09	4,71	3,74	1,67	0,44	0,37	0,23	0,48
0 ppm Mn	3,65	3,21	0,34	0,54	3,78	4,75	4,85	1,21	0,50	0,46	0,40	0,67
25 ppm Mn	3,04	3,77	0,46	0,43	3,68	1,91	3,10	0,84	0,35	0,28	0,30	0,28
50 ppm Mn	2,72	3,31	0,34	0,33	4,25	2,72	3,00	0,68	0,43	0,25	0,25	0,25
100 ppm Mn	2,54	3,33	0,30	0,37	4,03	2,68	3,15	0,67	0,45	0,17	0,30	0,29
F	13,86**	2,31	4,75*	37,5**	4,27*	3,53*	7,71**	36,75**	2,62	2,50	2,50	8,44**
d.m.s. 5%	0,57	0,80	0,20	0,16	1,20	3,22	1,22	0,40	0,15	0,40	0,17	0,36
C.V. %	16,13	7,37	30,77	51,53	17,07	32,68	24,37	40,59	18,60	41,94	30,00	46,15

F : * significativo ao nível de 5% de probabilidade.
 **significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 20 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral da galactia (*Galactia striata* Jacq. Urb.). Teores de micronutrientes. Médias de 4 repetições.

	ppm Fe			ppm Cu			ppm Mn			ppm Zn			ppm B		
	P.aérea	Raiz	P.aérea	P.aérea	Raiz	P.aérea	P.aérea	Raiz	P.aérea	P.aérea	Raiz	P.aérea	P.aérea	Raiz	Raiz
Completo	184,75	31.168	4,98	7,98	229,8	753,8	15,3	52,3	62,0	79,0					
0 ppm Mn	346,80	28.323	6,53	8,20	167,0	248,5	26,3	53,0	95,0	115,5					
25 ppm Mn	307,0	18.080	6,93	10,10	2670,0	10477,0	35,5	48,5	90,0	113,0					
50 ppm Mn	307,0	15.515	8,50	9,80	3997,5	9456,0	46,3	45,5	92,5	86,0					
100 ppm Mn	343,0	24.390	8,83	14,80	4495,0	6977,0	40,3	51,0	87,5	65,0					
F	1,82	63.004,8**	14,85**	14,51**	54,65**	26,97**	13,00**	0,71	1,38	0,77					
d.m.s. 5%	213,61	150,28	1,77	4,10	1206,84	166,68	14,77	20,95	49,80	141,79					
C.V. %	35,56	29,14	22,52	26,52	83,77	83,15	38,84	9,70	27,73	36,39					

F: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 21 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral da soja perene (*Glycine wightii* Verdc. cv. Tinaroo). 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
Completo		2,98	2,75	1,57	1,45	3,67	3,52	2,67	2,42	0,45	0,46	0,20	0,64
0 ppm Mn		2,47	2,80	0,93	1,32	4,03	4,71	3,00	1,35	0,60	0,42	0,25	0,55
25 ppm Mn		2,23	2,70	0,68	0,98	4,35	2,92	3,00	0,87	0,60	0,36	0,28	0,35
50 ppm Mn		2,37	2,31	1,31	0,78	2,38	2,10	2,00	0,81	0,38	0,26	0,20	0,32
100 ppm Mn		2,28	2,38	1,66	0,89	3,38	2,63	3,00	0,71	0,55	0,30	0,25	0,36
F		12,17**	6,41**	10,04**	2,20	5,29**	10,75**	1,84	4,59*	4,00*	16,88**	0,83	6,67**
d.m.s. 5%		0,37	0,52	0,57	1,13	1,40	1,85	1,40	1,73	0,22	0,12	0,18	0,32
C.V. %		13,01	8,88	36,59	31,19	25,00	60,98	25,18	30,91	25,00	22,22	29,17	31,82

F: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade
 ** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 22 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral da soja perene (*Glycine wightii* Verdc cv. Tinaroo). Teores de micronutrientes.

	ppm Fe		ppm Cu		ppm Mn		ppm Zn		ppm B	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
Completo	282,8	32402,5	5,48	13,83	239,3	1588,3	18,0	61,3	56,3	60,8
0 ppm Mn	369,0	35525,0	5,15	15,60	276,5	471,3	27,3	157,0	112,5	164,0
25 ppm Mn	393,0	32280,0	8,75	16,70	2239,5	6270,0	79,5	219,0	125,0	104,0
50 ppm Mn	251,3	22210,0	8,03	16,50	1794,0	2943,0	52,0	209,0	57,5	74,0
100 ppm Mn	394,5	34600,0	10,0	16,60	3153,3	3841,0	74,5	68,0	92,5	93,0
F	4,18*	9465,14**	7,94**	0,38	149,55**	1413,39**	10,31**	77,93**	5,71**	15,70**
d.m.s. 5%	142,37	286,27	3,26	11,06	453,58	336,40	37,39	48,46	57,31	66,63
C.V. %	24,90	22,84	31,28	14,76	76,56	69,40	58,57	50,05	41,70	39,95

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

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 23 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral do siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. siratro). Teores de macronutrientes. Média 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
Completo	2,74	3,11	0,43	0,90	2,75	4,18	2,09	0,92	0,70	0,34	0,09	1,03
0 ppm Mn	2,66	3,34	0,49	1,07	4,06	5,49	2,85	2,24	0,82	0,63	0,27	1,46
25 ppm Mn	2,36	3,33	0,42	1,45	4,07	3,25	2,43	2,24	0,68	0,32	0,25	0,55
50 ppm Mn	2,80	3,45	0,46	1,39	5,05	3,33	2,52	1,45	0,71	0,22	0,37	0,62
100 ppm Mn	2,58	3,78	0,36	1,50	4,14	1,98	1,50	1,28	0,44	0,19	0,32	0,53
F	3,19*	3,32*	1,00	0,50	5,87**	4,25*	69,8**	3,30*	9,01**	8,00**	22,5**	6,79**
d.m.s. 5%	0,42	0,58	0,24	1,62	1,48	2,75	0,85	1,42	0,19	0,26	0,09	0,68
C.V. %	8,75	9,71	23,26	55,50	24,19	44,78	25,44	48,76	22,39	55,88	42,31	54,76

F: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 24 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral do siratro (*Macroptilium atropurpureum* cv. siratro). Teores de micronutrientes.

	ppm Fe		ppm Cu		ppm Mn		ppm Zn		ppm B	
	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz	P. aérea	Raiz
Completo	500,25	1898,5	7,03	17,43	92,5	617,5	20,8	38,3	47,3	211,5
0 ppm Mn	630,50	3757,8	10,40	34,83	119,0	356,8	47,5	64,0	80,3	303,5
25 ppm Mn	686,8	5106,8	9,80	45,20	1915,5	37897,5	66,8	74,8	69,5	230,3
50 ppm Mn	613,5	3437,3	9,50	32,90	5932,0	28245,0	50,0	52,8	108,5	231,3
100 ppm Mn	351,5	3779,3	9,50	31,90	6729,3	41315,0	41,8	63,0	82,8	213,3
F	3,72*	1,57	3,93*	12,42**	119,81**	33,83**	4,33*	3,89*	3,81*	0,63
d.m.s. 5%	301,81	4619,61	2,84	12,30	1269,18	15027,34	34,85	30,48	49,71	207,60
C.V. %	31,12	63,12	17,88	32,01	100,17	86,66	45,89	30,23	36,99	38,35

F: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 26 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral do estilósantes (*Stylosanthes guianensis* Aubl. Swartz cv. IRI 1022). Teores de macronutrientes. Média 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
Completo	2,57	3,63	0,66	1,27	3,51	3,76	2,17	1,66	0,42	0,43	0,44	0,66
0 ppm Mn	2,80	3,19	0,70	1,92	2,54	5,92	2,67	1,97	0,38	0,53	0,33	0,95
25 ppm Mn	2,48	3,58	0,59	1,57	2,90	4,19	2,07	1,67	0,37	0,45	0,29	0,97
50 ppm Mn	2,43	3,51	0,54	1,78	2,82	4,25	2,43	1,36	0,38	0,43	0,33	0,88
100 ppm Mn	2,40	3,24	0,64	1,85	4,56	3,29	1,99	1,55	0,45	0,39	0,41	0,89
F	1,77	2,22	1,88	8,59**	5,28**	12,5**	0,59	7,31**	0,83	2,50	3,77**	0,75
d.m.s. 5%	0,52	0,76	0,19	0,52	1,53	1,61	0,72	0,64	0,17	0,16	0,16	0,80
C.V. %	10,28	6,71	15,71	16,07	29,45	22,89	14,10	20,13	19,00	13,64	25,83	21,84

F: * Significativo ao nível de 5% de probabilidade

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 27 - Efeito de níveis crescentes de Mn na composição mineral do estilosantes (*Stylosanthes guianensis* Aubl. Swartz cv. IRI 1022). Teores de macronutrientes. Médias de 4 repetições.

	ppm Fe		ppm Cu		ppm Mn		ppm Zn		ppm B	
	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz	P.aérea	Raiz
Completo	600,0	4305,0	3,48	19,2	90,3	584,0	25,5	52,0	70,8	83,0
0 ppm Mn	698,8	11865,0	3,65	23,4	90,3	192,0	36,3	88,0	74,3	135,5
25 ppm Mn	558,3	6661,5	2,78	28,2	1627,0	4524,0	19,2	80,0	73,0	94,0
50 ppm Mn	612,5	7344,0	4,10	22,3	3277,0	8859,5	29,5	58,5	64,8	96,5
100 ppm Mn	510,0	12320,0	3,75	40,9	5719,3	10394,5	33,5	110,5	85,0	142,0
F	1,21	6,22**	1,38	6,39**	125,83**	91,06**	4,19*	6,46*	0,71	33,99**
d.m.s. 5%	278,59	7915,28	1,81	19,22	913,18	2776,13	14,31	52,64	38,13	26,02
C.V. %	21,86	42,21	24,51	32,86	102,08	90,04	29,44	31,16	22,99	23,22

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

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

5. CONCLUSÕES

Os sintomas de carência ou toxidez mineral observados e o uso de análise de variância utilizando a produção de matéria seca das partes aéreas e raízes 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 e manganês no meio;
- b - Em relação ao alumínio, as leguminosas podem ser classificadas em sensíveis (soja e siratro) e tolerantes (galactia e estilosantes), com base nos dados de produção de matéria seca sob condições de níveis elevados do elemento na solução;

- c - Em relação ao manganês, as mesmas plantas podem ser também classificadas em sensíveis (soja e siratro) e tolerantes (estilosantes e galactia);
- d - As quatro espécies mostraram-se mais afetadas pelo excesso de manganês que pelo excesso de alumínio;
- e - 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;
- f - O excesso de alumínio provocou uma diminuição nas concentrações de cálcio e magnésio para todas as espécies estudadas e uma elevação nas concentrações de alumínio das raízes;
- g - O manganês em excesso causou uma diminuição dos teores de cálcio e potássio nas raízes das plantas mais afetadas; elevação da concentração de zinco nas partes aéreas e de manganês na planta toda;

h - Os sintomas observados de deficiência de Mn e excesso de alumínio e manganês estão de acordo com os relatados em experimentos utilizando leguminosas tropicais.

6. LITERATURA CITADA

- ALCANTARA, P.B. e G. BUFARAH, 1979. Plantas forrageiras - Gramíneas e Leguminosas. São Paulo, Livraria Nobel S/A. 150p.
- ALVES, J.A. e M.M.S. TAVARES, 1975. Fertilização mineral e correção do solo. II. A acidez do solo e sua correção. Melhoramento, 25: 18-47.
- 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.
- ANDREW, C.S. e R.K. JONES, 1978. The phosphorus nutrition of tropical forage legumes. In: Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne, Austrália, p.295-311.
- ARTYUSHIN, A.M. e 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: 441-449.

- AWAD, A.S.; D.G. EDAWRDS e P.J. MILHAM, 1976. Effect of pH and phosphate on soluble soil aluminum and on growth and composition of kikui grass. Plant and Soil. The Hague, 45: 531-542.
- BROMFIELD, S.M., 1978. The effect of manganese - oxidizing bacteria and pH on the availability of manganous ions and Mn oxides to oats in nutrient solutions. Plant and Soil. The Hague, 49: 23-29.
- BROWN, J.C. e W.E. JONES, 1977. Manganese and iron toxicities dependent on soybean variety. Commum. in Soil Sci and Plant Analysis, 8(1): 1-15.
- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1974. Natureza e propriedade dos solos. Livraria Freitas Bastos. Rio de Janeiro, 594p.
- CARTER, O.G.; I.A. ROSE e P.F. READING, 1975. Variation in susceptibility to manganese toxicity in 30 soybean genotypes. Crop Science, 15: 730-732.
- CHENG, B.T. e G.J. OVELLETTE, 1971. Effects of organic amendments on manganese toxicity in potatoes as measure by sand and soil culture studies. Plant and Soil, 34: 165-181.
- DANTAS, J.P., 1978. Nutrição mineral do feijão massacar (*Vigna sinensis* (L.) Endl.). Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP. 121p.
- DAHIYA, S.S. e M. SINGH, 1977. Effect of CaCO_3 and iron application on the availability on manganese in light-textured soil. Plant and Soil, 46: 239-243.
- DOBEREINER, J. e R. ALVAHYDO, 1966. Eliminação da toxidez de manganês pela matéria orgânica em solo "Gray Hidromórfico". Pesquisa Agropecuária Brasileira, 1: 243-248.

- EPSTEIN, E., 1975. Nutrição mineral das plantas - princípios e perspectivas. Editora Universidade de São Paulo. 341p.
- FERRI, M.G., 1977. Ecologia dos cerrados. In: IV Simpósio sobre o Cerrado. São Paulo, p.15-33.
- FLEMING, A.L.; J.W. SCHWARTZ e C.D. FOY, 1974. Chemical factors controlling the adaptation of Weeping Lovegrass and Tall Fescue to acid Mine Spoils. Agronomy Journal 6(66): 715-719.
- 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. e J.C. BROWN, 1964. Toxic factors in acid soils.II: Differential aluminum tolerance of plant species. Soil Science Society Proceedings, 28: 27-32.
- FREIRE, J.P., 1975. Efeito do cálcio e do pH na adsorção do manganês pelos solos e sua toxidez às plantas. Dissertação de Mestrado. Piracicaba, ESALQ/USP, 49p.
- GILBERT, B.E. 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. SOARES e E.Z. GALRÃO, 19 . 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 toxicidade de alumínio e manganês no solo. Ciência e Cultura, 28(2): 181-182.

- GRAVEN, E.H.; O.J. ATTOE e D. SMITH, 1965. Effect of liming and flooding on manganese, toxicity in alfalfa. Soil Science Society Proceedings, 29: 702-706.
- GUERRIER, G., 1978. Influence de l'aluminium sur la selêtivité racinaire de plantes calcicole e calcifuge. Can. J. Bot., 56: 1949-1952.
- HEENAN, D.P. e O.G. CARTER, 1975. Response of two soya bean cultivars to manganese toxicity as affected by pH and calcium levels. Austr. J. Agric. Res., 26: 967-974.
- HEENAN, D.P. e O.G. CARTER, 1976. Tolerance of soybean Cultivars to manganese toxicity. Crop Science, 16: 389-391.
- HEENAN, D.P. e O.G. CARTER, 1977. Influence of temperature on the expression of manganese toxicity by two soybean varieties. Plant and Soil, 47: 219-227.
- HELYAR, K.R., 1978. Effects of aluminum and manganese toxicities an legume growth. In: Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and subtropical soils. Melbourne, Austrālia. p.207-231.
- HUTCHINSON, F.E. e A.S. HUNTER, 1970. Exchangeable aluminum levels in two soils as related to lime tratment and growth of six crops species. Agronomy Journal, 62: 702-704.
- ISBELL, R.F., 1978. Soils of the tropics and sub-tropics genesis and characteristics. In: Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Melbourne, Austrālia, p.1-20.
- JONES, W.F. e L.E. NELSON, 1978. Response of field grown soy beans to lime. Commun. in Soil Sci. and Plant Analysis., 9(7): 607-614.

- 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 colloïdes minéraux. Ann. Agron., 15: 5-22.
- KAMPRATH, E.J., 1978. Lime in relation to Al toxicity in Tropical Soils. In: Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Melbourne, Austrālia, p.233-245.
- 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, Austrālia, p.395-415.
- KENNETH, E.W., 1943. Internal precipitation of phosphorus in relation to aluminium toxicity. Plant Physiology, 18: 708-712.
- LABANAUSKAS, C.K., 1966. Manganese. In: Diagnostic Criteria for Plants and Soils. University of California, p. 264-285.
- LEVEQUE, L.A. e J. BELEY, 1959. Contribution a l'étude de la nutrition minerale de l'arachide (*Arachis hypogaea*). Effects des toxicités borique et manganique. L'Agronomie Tropicale, XIV(1): 684-710.

LÖHNIS, M.P., 1950. Manganese toxicity in beans. 40 Int. Congr. of Soil Science. vol. 1.

LONG, F.L. e C.D. FOY, 1970. Plant varieties as indicators of aluminium toxicity in the A₂ 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 e 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 e 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 E.J. KAMPRATH, 1978. Effect of soil pH and liming on growth and nodulation of soybeans in Histosols. Agron. Journal, 70: 959-963.

MONIZ, A.C., 1972. Elementos de pedologia. Editora da Universidade de São Paulo. 459p.

MORAGHAN, J.T. e T.J. FREEMAN, 1978. Influence of Fe EDDHA on growth and manganese accumulation in flax. Soil Sci. Soc. of Am. Journal, 42(3): 455-460.

MORRIS, H.D. e W.H. PIERRE, 1949. Minimum concentrations of manganese necessary for injury to various legumes in culture solutions. Agron. Journal, 41: 107-112.

MUNNS, D.N., 1978. Soil acidity and nodulation. In: Mineral Nutrition of Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Melbourne, Austrália, p.247-263.

OLIVEIRA, I.P., 1980. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Tese de Doutorado. ESALQ/USP. 196p.

OLMOS, J. e 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.

PREVOT, P.; M. OLLAGNIER; G. AUBERT e J.M. BRUGIERE, 1955. Dégradation du sol et toxicité manganique. Oléagineux, 4: 239-243.

REDDY, K.R.; M.C. SAXENA e J.R. PAL, 1978. Effect of iron and manganese on Zn^{65} absorption and translocation in soybean seedlings. Plant and Soil, 49: 409-415.

RUSSEL, J.S., 1978. Soil factors affecting the growth of legumes on low fertility soils in the tropics and sub-tropics. In: Mineral Nutrition on Legumes in Tropical and Subtropical Soils. Melbourne, Austrália, p.76-92.

SALINAS, J.G. e P.A. SANCHEZ, 1976. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. In: Simp. sobre "melhoramento das plantas para resistência à toxidez de alumínio e manganês". Ciência e Cultura, 28(2): 156-168.

SARTAIN, J.B. e E.J. KAMPRATH, 1975. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. Agron. Journal, 67: 507-510.

SARTAIN, J.B. e E.J. KAMPRATH, 1978. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. Agron. Journal, 1: 17-20.

SILVA, A.R., 1976. Melhoramento genético para resistência à toxidez de alumínio e manganês no Brasil: Antecedentes, necessidade e possibilidades. Tópicos para discussão e pesquisas.

SIMAN, A.; F.W. CRADOCK; P.J. NICHOLLS e H.C. KIRTON, 1971. Effects of calcium carbonate and ammonium sulphate on manganese toxicity in an acid soil. Austr. J. Agric. Res. 22: 201-204.

- SOMERS, I.I.; S.G. GILBERT e J.W. SHIVE, 1942. The iron-manganese ratio in relation to the respiratory CO_2 and deficiency - toxicity symptoms in soybeans. Plant Physiology 17: 317-320.
- SOUTO, S.M. e J. DOBEREINER, 1969. Toxidez de manganês em leguminosas forrageiras tropicais. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 4: 129-138.
- SOUTO, S.M. e J. DOBEREINER, 1969. Fixação de N e estabelecimento de duas variedades de soja perene (*Glycine javanica*) com 3 níveis de fósforo e cálcio, em solo com toxidez de manganês. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 4: 59-66.
- SUTTON, C.D. e E.G. HALLSWORTH, 1958. Studies on the nutrition of forage legumes. Plant and Soil, IX: 305-317.
- TRUONG, N.V.; G.L. WILSON e C.S. ANDREW, 1971. Manganese toxicity in pasture legumes. I. Effects of calcium and phosphorus levels in the substrate. Plant and Soil, 34: 309-330.
- TRUONG, N.V.; C.S. ANDREW e G.L. WILSON, 1971. Manganese toxicity in pasture legumes. II. Effects of pH and molybdenum levels in the substrate. Plant and Soil, 34: 547-560.
- VIDOR, C. e 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. e 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 *Medicago sativa*. Plant and Soil, 46: 195-208.

WHITE, R.E.; L.O. TIFFIN e A.W. TAYLOR, 1976. The existence of polymeric complex in dilute solutions of aluminium and orthophosphate. Plant and Soil, 45: 521-529.

WILLIAMS, D.E. e J. VLAMIS, 1957. Manganese and boron toxicities in standard culture solutions. Proc. of the Soil Sci. Soc. of America, 21: 205-209.