

# COMPORTAMENTO DE GENÓTIPOS DE SOJA EM SOLO COM ALTA SATURAÇÃO DE ALUMÍNIO<sup>1</sup>

JOÃO BOSCO CARVALHO DA SILVA<sup>2</sup>, ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS<sup>3</sup>  
e CARLOS SIGUEYUKI SEDIYAMA<sup>4</sup>

**RESUMO** - Dois ensaios foram conduzidos em casa de vegetação, visando avaliar a tolerância de genótipos de soja ao Al trocável do solo. A avaliação baseou-se no aprofundamento do sistema radicular em camadas de um solo com níveis diferentes de saturação de Al. Vasos, constituídos pela sobreposição de quatro anéis de PVC, de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, receberam camadas de solo com níveis diferentes de calagem, formando um gradiente com zero; 17,2; 46,5 e 73,5% de saturação de Al. Em outro tratamento, adicionou-se o solo corrigido em todo o volume do vaso. Todos os vasos tiveram o solo, no anel superior, fertilizado. Num segundo ensaio, comparou-se o comportamento de um genótipo de sorgo e um de soja, ambos supostamente sensíveis ao Al. A metodologia utilizada não foi eficiente para identificar diferenças genotípicas quanto à tolerância ao Al, pois tanto os genótipos supostamente sensíveis como os tolerantes emitiram raízes nas camadas de solo com elevada saturação do Al. Os genótipos de soja mostraram ser mais tolerantes ao Al que o de sorgo, no que diz respeito ao aprofundamento do sistema radicular em camadas de solo com elevada saturação de Al.

Termos para indexação: tolerância a alumínio, sistema radicular, calagem, soja.

## BEHAVIOR OF SOYBEAN GENOTYPES UNDER SOIL CONDITIONS WITH HIGH ALUMINUM SATURATION

**ABSTRACT** - Two experiments were carried out under greenhouse conditions to evaluate the aluminum tolerance of soybean genotypes. The evaluation was based on the root growth in soil layers with different levels of Al saturation. Pots prepared by superimposing four 10 cm height rings of 10 cm diameter "PVC" tubes received layers of soil with different levels of liming, forming a gradient with zero, 17.2, 46.5 and 73.5% of aluminum saturation. In other treatment, all the soil in the pot was limed. All the pots, in both treatments, had the 10 cm upper layer fertilized. In a second experiment, the behavior of a genotype of soybean and other of sorghum, both supposedly aluminum sensitive was compared. The procedure used was not adequate to identify genotypic differences once, even the supposed nontolerant genotypes grew root into the soil layer with high aluminum saturation. The soybean genotypes showed to be more aluminum tolerant than the sorghum genotype when the root growth in high Al soil layer is considered.

Index terms: aluminum tolerance, root system, liming, soybean.

## INTRODUÇÃO

A presença de alumínio (Al) no solo, em níveis tóxicos, tem sido considerada como importante fator de limitação da produtividade das culturas nas regiões de solos com acidez elevada. Embora a prática da calagem permita corrigir ou atenuar os efeitos do Al, a eficiência da correção se limita à cama-

da de incorporação do corretivo, podendo o subsolo continuar com elevado teor de Al trocável (Gonzales-Erico et al. 1976, Olmos & Camargo 1976).

A existência de Al em níveis tóxicos abaixo da camada corrigida pode restringir o aprofundamento do sistema radicular, podendo limitar, assim, a camada de solo a ser explorada pelas raízes. A água armazenada no subsolo torna-se inacessível, e as plantas ficam susceptíveis a déficits hídricos em curtos períodos de estiagem. Essa situação tem sido considerada por vários autores como a principal causa da redução da produtividade nas regiões de solos com acidez elevada, nos anos com veranicos.

Outra forma de ação prejudicial do Al, que tem sido citada por vários autores, é a interferência na absorção e utilização de elementos essenciais, notadamente P e Ca. Uma das hipóteses sugeridas é que o Al forma precipitados hidroxialumino-fosfa-

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 16 de janeiro de 1984.

Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de M.S. na Universidade Federal de Viçosa.

<sup>2</sup> Eng.<sup>o</sup> Agr.<sup>o</sup>, M.Sc., Fundação Zoobotânica do Distrito Federal. Av. W 5 Norte, Parque Rural, CEP 70000 Brasília, DF.

<sup>3</sup> Eng.<sup>o</sup> Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., UFV/Departamento de Solos, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>4</sup> Eng.<sup>o</sup> Agr.<sup>o</sup>, Ph.D., UFV/Departamento de Fitotecnia, CEP 36570 Viçosa, MG.

tados que retêm o P tornando-o não-disponível para as plantas (Clarkson 1967 e 1969, McCormick & Borden 1972), podendo provocar deficiência deste elemento, quando existente em níveis baixos no solo. Esse fenômeno se dá na superfície radicular, no espaço livre aparente, formando um gel que pode também atuar dificultando a absorção de outros nutrientes, pelo isolamento entre a fonte e os mecanismos de absorção.

As interferências do Al na nutrição parecem ser, portanto, uma forma indireta de ação tóxica do Al e a adição dos nutrientes à camada de solo corrigido pode permitir uma nutrição adequada à planta, mesmo que haja restrição ao aprofundamento do sistema radicular.

A ação do Al no que diz respeito ao crescimento radicular está diretamente relacionada com a possibilidade de acesso de doses elevadas de Al ao protoplasma do vegetal, atuando nos tecidos meristemáticos dos ápices das raízes, paralisando o processo de divisão celular. Nesse sentido, todos os mecanismos que dificultam a absorção de Al são importantes no estudo da tolerância, caracterizando formas de proteção contra a toxidez de Al, embora os mecanismos de tolerância propriamente ditos sejam ainda pouco conhecidos (Levitt 1972).

Uma das possíveis barreiras que evitam a penetração do Al ao protoplasma são as estrias de Caspary existentes na endoderme do tecido radicular (Esau 1976) e que limitam a absorção passiva de íons (Bowling 1976). Uma evidência nesse sentido foi verificada por Rasmusen (1968), que encontrou maior concentração interna de Al no ápice e nos pontos de crescimento das raízes laterais, justamente onde a endoderme se apresenta na forma de protoderme, não estando presentes, ainda, as estrias de Caspary (Esau 1976).

Assim, a penetração do Al em doses elevadas no protoplasma do vegetal, através de tecidos em formação localizados nas extremidades do sistema radicular, pode provocar alterações no processo de crescimento das raízes.

Em um ensaio utilizando a cultura de sorgo, Silva et al. (s.n.t.) verificaram uma nítida restrição do crescimento radicular dos genótipos mais sensíveis, na linha de contato entre a camada de solo corrigido e o não-corrigido, permitindo identificar

aqueles que toleraram uma elevada saturação de Al, por emitirem raízes nas camadas não-corrigidas. Embora a metodologia utilizada tenha se revelado adequada para a seleção dos genótipos, alguns deles, mesmo prejudicados pela presença do Al, emitiram algumas raízes nas camadas não-corrigidas, sendo considerados como medianamente tolerantes. Como foi utilizado apenas um nível de saturação de Al e sendo este muito elevado (82%), não foi possível avaliar, adequadamente, tolerância intermediária. Dando continuidade àquele trabalho, instalou-se um ensaio com soja, utilizando um gradiente com quatro níveis de saturação de Al no solo dos vasos, com o objetivo de aprimorar a metodologia, na expectativa de que, à semelhança do ocorrido com o sorgo, os genótipos de soja tivessem o crescimento radicular limitado, quando a saturação de Al na camada de solo imediatamente inferior ultrapassasse suas capacidades de tolerância e, assim, identificar aqueles genótipos mais tolerantes.

## MATERIAL E MÉTODOS

Dois ensaios foram conduzidos em casa de vegetação, utilizando amostras de um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) sob cerrado não-cultivado, da região de Sete Lagoas, MG, apresentando elevada saturação de Al trocável (Tabela 1). As amostras foram coletadas da camada de 20 a 40 cm de profundidade, para evitar maiores conteúdos de matéria orgânica, sendo secadas ao ar, passadas em peneira de 2 mm e homogeneizadas.

### Seleção de genótipos de soja tolerantes ao alumínio

Neste ensaio, utilizaram-se vasos com capacidade de 2,56 kg de terra, constituídos pela sobreposição de quatro anéis de PVC rígido de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, unidos por fita adesiva, com uma placa de madeira no fundo e com um anel de 2 cm de altura no topo, destinado à retenção de água de irrigação no vaso.

Um dos tratamentos foi constituído pela adição de solo corrigido em todo o volume do vaso e, no outro, em cada anel do vaso, foi colocado solo com um nível de calagem, formando um gradiente de saturação de Al em quatro níveis, visando, assim, aprimorar a metodologia utilizada em trabalho realizado com sorgo (Silva et al. s.n.t.), quando foi utilizada apenas uma camada de solo corrigido sobre o solo sem correção. Para formar o gradiente de calagem, sete porções do solo foram tratadas com uma mistura de  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ , na relação estequiométrica de 4:1, nos níveis de 0,0; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,2 e 1,6 vez a quantidade de corretivo necessária para a neutralização do Al trocável, na forma proposta por Kamprath (1970), o

**TABELA 1.** Resultados de análises de características químicas e físicas de amostras de solo utilizadas<sup>1</sup>.

| Características                                 | Resultados         |                            |
|---|--------------------|----------------------------|
|   | Ensaio 1<br>(soja) | Ensaio 2<br>(sorgo e soja) |
| pH em água (1:2,5)                              | 4,0                | 4,6                        |
| Al <sup>+++</sup> (meq/100 g solo) <sup>2</sup> | 2,1                | 2,1                        |
| Ca <sup>++</sup> (meq/100 g solo) <sup>2</sup>  | 0,53               | 0,87                       |
| Mg <sup>++</sup> (meq/100 g solo) <sup>2</sup>  | 0,13               | 0,23                       |
| P (ppm) <sup>3</sup>                            | 2,0                | 1,5                        |
| K (ppm) <sup>3</sup>                            | 38,0               | 56,0                       |
| Saturação de Al %                               | 73,5               | 62,8                       |
| Matéria orgânica % <sup>4</sup>                 | 4,42               | 4,45                       |
| Areia grossa %                                  | 5,0                | 5,0                        |
| Areia fina %                                    | 15,0               | 9,0                        |
| Silte %   | 15,0               | 13,0                       |
| Argila %  | 65,0               | 73,0                       |
| Classificação textural                          | Argila pesada      | Argila pesada              |

<sup>1</sup> Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Solos da UFV.

<sup>2</sup> Extrator: KCl 1 N (Vettori 1969).

<sup>3</sup> Extrator: Mehlich-1 (Vettori 1969).

<sup>4</sup> Método: Walkley-Black (Vettori 1969).

que correspondeu, respectivamente, à adição de 0,0; 0,8; 1,6; 2,4; 3,2; 4,8 e 6,4 t/ha de corretivo (PRNT = 100%). Após um período de incubação de doze dias em sacos de polietileno, foram selecionados quatro níveis de saturação de Al que melhor se distribuíam dentro da faixa de zero a 73,5%. Os níveis de calagem selecionados foram aqueles correspondentes às aplicações de 0,0; 0,8; 2,4 e 6,4 t/ha de corretivo, os quais resultaram nos níveis de saturação de Al de 73,5%, 46,5%, 17,2% e 0,0%, equivalentes aos teores de Al trocável de 2,1; 1,3; 0,6 e 0,0 meq/100 g de solo e aos valores de pH de 4,5; 5,1; 5,2 e 5,8, respectivamente. A porção necessária para compor o tratamento de calagem uniforme em todo o vaso recebeu calagem correspondente a 6,4 t/ha.

Cada porção de solo necessária para compor o anel superior dos vasos (0,64 kg), nos dois tratamentos, recebeu, na forma de solução: 150 ppm de P; 188 ppm de K; 0,82 ppm de B; 3,66 ppm de Mn; 1,39 ppm de Cu; 1,55 ppm de Fe; 0,15 ppm de Mo; 4,0 ppm de Zn; e 3,49 ppm de S, tomando por base o peso do solo desta porção que, após homogeneização, foi transferida para o vaso.

Dez genótipos de soja, provenientes do Programa de Melhoramento de Soja da UFV, foram testados, utilizando seis sementes por vaso. Inicialmente, adicionaram-se 150 ml d'água desmineralizada por vaso para fornecer

umidade necessária à germinação e evitar, em parte, a lixiviação de íons para as camadas inferiores. Até a emergência, foram adicionadas pequenas quantidades d'água, para manter a umidade, elevando-se, então, a umidade do solo dos vasos para a capacidade de campo.

Dez dias após a emergência, fez-se o desbaste, deixando duas plantas por vaso. Aos 15 e 30 dias, foram feitas adubações nitrogenadas com 20 e 50 ppm de N, na forma de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em solução, tomando como base o peso de solo da camada fertilizada (0,64 kg).

A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, fazendo-se irrigações diárias e duas pesagens por semana, para uniformização.

A distribuição dos tratamentos, em quatro repetições, foi feita segundo o esquema fatorial 10 x 2 (genótipos e calagem), com casualização completa das parcelas; os quatro anéis ou gradientes de calagem constituíram subparcelas.

A colheita foi feita aos 33 dias da emergência, quando se observou que o sistema radicular de diversos genótipos atingia o fundo do vaso.

Após o corte da parte aérea rente ao solo, fez-se a separação dos anéis com os respectivos gradientes de calagem de cada vaso, com uso de uma faca. Após uma breve secagem ao ar, foi retirada uma amostra de solo, com o emprego de uma peneira de 18 meshes, sobre a qual as raízes foram lavadas. As raízes e a parte aérea foram levadas à estufa de circulação forçada de ar, a 70°C, por 72 horas, obtendo-se o peso dos materiais secos.

O peso da matéria seca de raiz de cada anel foi transformado em percentagem do total do peso do sistema radicular no vaso; obteve-se, também, a relação percentual entre o peso de raiz de cada anel dos vasos com o tratamento com o gradiente de calagem e o peso de raiz do anel correspondente dos vasos do tratamento com calagem uniforme.

As amostras de solo de cada anel foram analisadas, obtendo-se os teores de Ca, Mg e Al trocáveis, de P e K solúveis, e os valores de pH.

#### Comparação entre o comportamento do sorgo e da soja quanto à tolerância ao alumínio

Este ensaio visou confirmar os resultados e comparar o comportamento dos genótipos mais sensíveis das duas espécies testadas com metodologias diferentes. Utilizou-se um genótipo de soja variedade Bragg, caracterizado como sensível pelo trabalho de Palhano et al. (1981), e o genótipo de sorgo IS 5769 C, caracterizado como sensível por Silva et al. (s.n.t), utilizando a mesma metodologia empregada neste ensaio.

Os vasos, com capacidade de 1,85 kg de solo (Tabela 1), foram formados pela sobreposição de seis anéis de 10 cm de diâmetro e 5 cm de altura, os quais continham, no fundo, disco de isopor e, na parte superior, um anel de 2 cm de altura, sendo as peças unidas com fita adesiva.

Os tratamentos de calagem foram os mesmos utilizados no ensaio com sorgo. Porém a camada de solo com ca-

lagem e adubação ocupou, nos dois tratamentos, somente o volume do primeiro anel (0,35 kg), coincidindo, assim, a região de transição entre a camada de solo corrigida e não-corrigida com a divisão entre o primeiro e segundo anel.

As parcelas, em três repetições, foram distribuídas de forma completamente casualizada, utilizando-se o esquema fatorial 2 x 2 (espécies e localização de calagem) na parcela; os seis anéis constituíram as subparcelas.

Dois adubações nitrogenadas foram feitas aos 8 e 22 dias da emergência, aplicando-se 50 ppm de N, na forma de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  em solução.

Aos 30 dias depois do plantio, foi feita a colheita, utilizando-se a metodologia descrita para o ensaio anterior.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Seleção de genótipos de soja tolerantes ao alumínio

Os dez genótipos testados apresentaram grande semelhança entre si, nos dois tratamentos com calagem, quanto à distribuição do sistema radicular, em todos os anéis dos vasos (Tabela 2). O mesmo ocorreu com a produção de matéria seca do sistema radicular e da parte aérea (Tabela 3), que não possibilitou caracterizar diferenças genotípicas quanto à sensibilidade ao Al. Esses resultados são semelhantes aos obtidos por Sartain & Kamprath (1975) que, testando doze cultivares de soja, em amostras de solo com 81% de saturação de Al, verificaram que o comprimento de raízes e a produção de matéria seca total não foram influenciados pela presença do Al. Também concordam com as observações de Melo (1980) que testando 50 genótipos de soja, classificou apenas quatro como sensíveis ao Al, tomando como base o comportamento das raízes. De maneira semelhante, Armingier et al. (1968) verificaram que uma variedade de soja caracterizada como a mais sensível ao Al teve a produção relativa de matéria seca da parte aérea reduzida para 59,8%, na presença do elemento, enquanto o sistema radicular foi reduzido para 71,3%, apenas. Esses resultados indicam que, pelo menos em termos de produção de matéria seca, o efeito do Al no sistema radicular da soja não foi tão drástico quanto o foi para o sorgo (Silva et al. s.n.t.). Portanto, o aprofundamento do sistema radicular não parece ser limitante à adaptação da soja a subsolos ácidos, ricos em Al. Entretanto, em diversos trabalhos, principalmente em solução nutritiva, têm sido verificadas diferenças marcantes

no crescimento radicular da soja, na presença do Al (Armingier et al. 1968, Foy et al. 1969, Sartain & Kamprath 1978, Hanson & Kamprath 1979).

Quanto à produção de matéria seca (Tabela 3), as considerações feitas para o ensaio com sorgo (Silva et al. s.n.t.) podem justificar a semelhança com os dados observados para a soja.

Embora não se tenha aplicado teste estatístico para comparar as produções de raízes, nota-se que, nos vasos com todo o solo corrigido, ocorreu maior aprofundamento do sistema radicular, com tendência de acúmulo no anel inferior (Tabela 2). Para o tratamento com gradiente de calagem, houve concentração significativa de raízes nas camadas com níveis mais elevados de calagem - anéis 1 e 2 (Tabela 4) - provavelmente em razão de alguma restrição ao crescimento, imposta pela presença do Al nas camadas inferiores. Portanto, a presença do Al, aparentemente, alterou o comportamento do sistema radicular. Porém a metodologia utilizada mostrou-se pouco sensível para detectar maiores diferenças de comportamento entre as cultivares utilizadas.

Assim, as diferenças observadas no quarto anel (Tabela 2) não podem ser tidas, com segurança, como causadas pela presença do Al. Entretanto, com base nos dados do terceiro anel, onde, no tratamento com gradiente de calagem, o solo apresentava, inicialmente, 46,5% de saturação de Al, pode-se observar, de forma clara, a grande semelhança de comportamento entre os genótipos testados, quanto à distribuição do sistema radicular, nos dois tratamentos com calagem.

As análises das amostras de solo coletadas de cada anel depois do período de cultivo revelaram, pelos valores de pH, teores de Ca e Mg e dados de saturação de Al (Tabela 5), que o gradiente de calagem testado manteve-se durante o período do ensaio. Esperava-se, em princípio, que os genótipos mais sensíveis tivessem, à semelhança do ocorrido com o sorgo, o crescimento do sistema radicular limitado, quando a saturação de Al nas camadas inferiores de solo ultrapassasse a capacidade de tolerância do genótipo. Entretanto, tal fato não ocorreu, o que leva a inferir que o crescimento do sistema radicular não é um bom parâmetro para selecionar genótipos de soja, quanto à tolerância ao Al, com a metodologia testada neste trabalho.

TABELA 2. Distribuição percentual de matéria seca de raízes de genótipos de soja, em relação ao gradiente de calagem no vaso.

| Anel <sup>1</sup> | Calagem                | Genótipos            |            |         |         |          |         |         |         |         |         | Média  |
|-------------------|------------------------|----------------------|------------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|
|                   |                        | UFV-1                | Cristalina | IAC-2   | Paraná  | St. Rosa | UFV-2   | UFV-4   | IAC-6   | Doko    | Bragg   |        |
| 1<br>(CV=5,2%)    | Uniforme <sup>2</sup>  | 48,1 <sup>4</sup> Aa | 49,4 Aa    | 51,7 Aa | 49,9 Aa | 47,3 Aa  | 50,0 Aa | 50,7 Aa | 48,2 Aa | 52,3 Aa | 48,1 Aa | 49,6 a |
|                   | Gradiente <sup>3</sup> | 54,9 Aa              | 50,8 Aa    | 54,5 Aa | 53,0 Aa | 49,5 Aa  | 48,0 Aa | 52,1 Aa | 51,1 Aa | 53,7 Aa | 47,6 Aa | 51,5 a |
|                   | Média                  | 51,5 A               | 50,1 A     | 53,1 A  | 51,5 A  | 48,4 A   | 49,0 A  | 51,4 A  | 49,7 A  | 53,0 A  | 47,8 A  | 50,5   |
| 2<br>(CV=6,9%)    | Uniforme               | 16,5 Aa              | 17,5 Aa    | 17,7 Aa | 14,6 Aa | 13,8 Ab  | 13,2 Ab | 13,2 Ab | 17,7 Aa | 16,1 Ab | 15,9 Ab | 15,6 b |
|                   | Gradiente              | 17,4 Aa              | 18,6 Aa    | 18,2 Aa | 16,9 Aa | 17,0 Aa  | 16,7 Aa | 17,4 Aa | 19,5 Aa | 21,6 Aa | 20,9 Aa | 18,4 a |
|                   | Média                  | 17,0 A               | 18,0 A     | 18,0 A  | 15,8 A  | 15,4 A   | 14,9 A  | 15,3 A  | 18,6 A  | 18,8 A  | 18,4 A  | 17,0   |
| 3<br>(CV=8,7%)    | Uniforme               | 15,0 Aa              | 15,1 Aa    | 13,7 Aa | 13,8 Aa | 18,1 Aa  | 13,1 Ab | 12,4 Ab | 15,7 Aa | 14,4 Aa | 15,8 Aa | 14,7 a |
|                   | Gradiente              | 16,0 Aa              | 16,7 Aa    | 14,9 Aa | 14,0 Aa | 14,6 Aa  | 19,1 Aa | 16,0 Aa | 15,2 Aa | 14,8 Aa | 15,2 Aa | 15,6 a |
|                   | Média                  | 15,5 A               | 15,9 A     | 14,3 A  | 13,9 A  | 16,3 A   | 16,1 A  | 14,2 A  | 15,5 A  | 14,6 A  | 15,5 A  | 15,2   |
| 4<br>(CV=11,7%)   | Uniforme               | 20,4 Aa              | 18,0 Aa    | 16,9 Aa | 21,7 Aa | 20,7 Aa  | 23,8 Aa | 23,7 Aa | 18,4 Aa | 17,2 Aa | 20,2 Aa | 20,1 a |
|                   | Gradiente              | 11,7 Ab              | 13,9 Aa    | 12,3 Aa | 16,1 Aa | 18,9 Aa  | 16,2 Ab | 14,5 Ab | 14,2 Aa | 9,9 Ab  | 16,3 Aa | 14,4 b |
|                   | Média                  | 16,0 A               | 16,0 A     | 14,6 A  | 18,9 A  | 19,8 A   | 20,0 A  | 19,1 A  | 16,3 A  | 13,5 A  | 18,3 A  | 17,3   |

<sup>1</sup> Quatro anéis de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sobrepostos, formam o vaso.

<sup>2</sup> Calagem uniforme em todo o solo do vaso corresponde à aplicação de 6,4 t/ha e adubação dos 10 primeiros centímetros (primeiro anel).

<sup>3</sup> Gradiente de calagem correspondente à aplicação de 6,4; 2,8; 0,8 e 0 t/ha na porção de solo dos respectivos anéis.

<sup>4</sup> As médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, para um mesmo anel não diferem; pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

**TABELA 3.** Produção da matéria seca da parte aérea e do sistema radicular de genótipos de soja, considerando o gradiente de calagem no vaso.

| Genótipos  | Calagem                    |                        | Média   |
|------------|----------------------------|------------------------|---------|
|            | Uniforme <sup>1</sup>      | Gradiente <sup>2</sup> |         |
|            | Parte aérea (g/vaso)       |                        |         |
| UFV-1      | 3,81 Aa <sup>3</sup>       | 3,33 Aab               | 3,57 ab |
| Cristalina | 3,00 Aa                    | 2,96 Aab               | 2,98 b  |
| IAC-2      | 3,60 Aa                    | 3,75 Aab               | 3,67 ab |
| Paraná     | 3,15 Aa                    | 2,67 Ab                | 2,91 b  |
| Santa Rosa | 3,59 Aa                    | 4,04 Aa                | 3,81 a  |
| UFV-2      | 4,08 Aa                    | 3,85 Aab               | 3,97 a  |
| UFV-4      | 3,56 Aa                    | 3,50 Aab               | 3,53 ab |
| IAC-6      | 3,68 Aa                    | 3,21 Aab               | 3,44 ab |
| Doko       | 3,47 Aa                    | 2,65 Bb                | 3,06 b  |
| Bragg      | 3,76 Aa                    | 3,74 Aab               | 3,75 ab |
| Média      | 3,57 A                     | 3,37 A                 | 3,47    |
| CV = 14,8% |                            |                        |         |
|            | Sistema radicular (g/vaso) |                        |         |
| UFV-1      | 1,33 Aa                    | 1,25 Aab               | 1,29 ab |
| Cristalina | 1,23 Aa                    | 1,31 Aab               | 1,27 ab |
| IAC-2      | 1,17 Aa                    | 1,38 Aab               | 1,27 ab |
| Paraná     | 1,32 Aa                    | 0,94 Bb                | 1,13 b  |
| Santa Rosa | 1,45 Aa                    | 1,55 Aa                | 1,50 a  |
| UFV-2      | 1,43 Aa                    | 1,51 Aa                | 1,47 a  |
| UFV-4      | 1,22 Aa                    | 1,29 Aab               | 1,26 ab |
| IAC-6      | 1,21 Aa                    | 1,18 Aab               | 1,19 ab |
| Doko       | 1,39 Aa                    | 1,14 Aab               | 1,27 ab |
| Bragg      | 1,25 Aa                    | 1,25 Aab               | 1,25 ab |
| Média      | 1,30 A                     | 1,28 A                 | 1,29    |
| CV = 16,8% |                            |                        |         |

<sup>1</sup> Calagem uniforme em todo o vaso.

<sup>2</sup> Gradiente de calagem correspondente à aplicação de 6,4; 2,8; 0,8 e 0 t de corretivo/ha nos respectivos anéis.

<sup>3</sup> As médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

#### Comparação entre os comportamentos do sorgo e da soja quanto à tolerância ao alumínio

Os dados obtidos neste ensaio confirmaram os resultados obtidos no ensaio anterior, tanto em termos de comportamento do sistema radicular (Fig. 1 e 2) e da matéria seca produzida (Tabela 6) quanto em termos de propriedades químicas das amostras de solo analisadas (Tabela 7).

Sendo os genótipos das espécies caracterizados

como sensíveis, pode-se deduzir que a soja tem maior capacidade para emitir sistema radicular em subsolo ácido com alta saturação de Al, onde grande parte dos genótipos de sorgo, e possivelmente de outras gramíneas, não é capaz de emitir raízes.

A presença do Al na camada inferior parece ter influenciado a eficiência do sistema radicular da soja, pela baixa produção de ramificações finas (Fig. 2). No entanto, essa limitação parece não prejudicar a cultura, uma vez que resulta numa maior proliferação de raízes, aparentemente normais, na camada corrigida (Tabela 4), onde, reconhecida, é necessária e econômica a adição de corretivos e fertilizantes, enquanto as raízes profundas podem absorver água, o que aumenta a capacidade de sobrevivência da cultura nos períodos de estiagem. Dessa forma, os danos causados pelos veranicos à soja cultivada em solos corrigidos e fertilizados devem ser, provavelmente, mais de natureza nutricional, pela importância da umidade nos processos de transporte e de absorção de nutrientes.

Embora tenha sido utilizado apenas um genótipo de cada espécie, a nítida diferença de comportamento observada correlaciona-se com a adaptação das espécies a região de solos de cerrado, onde a cultura da soja vem ampliando, cada vez mais, a fronteira agrícola do país, com produtividades semelhantes às obtidas em regiões com tradição na cultura. Entretanto, o sorgo, embora apresente grande potencial, não tem tido expressão nessas áreas.

Para o sorgo e, possivelmente, também para o milho (Bahia Filho et al. 1976), a limitação drástica ao aprofundamento das raízes dos genótipos sensíveis resulta na dependência da umidade existente na camada corrigida e na limitação do crescimento dos genótipos em períodos de estiagens prolongadas. Torna-se, assim, necessária a utilização de genótipos que emitam raízes profundas, além da camada corrigida, ou a seleção de áreas formadas por solos com baixo teor de Al trocável no subsolo.

#### Considerações gerais

Os resultados obtidos e as considerações levantadas podem, pelo menos em parte, justificar as divergências de informações obtidas pelas pesqui-

TABELA 4. Percentual de matéria seca de raízes de genótipos de soja em cada anel do tratamento com gradiente<sup>1</sup> de calagem, em relação ao peso de raízes no anel correspondente do tratamento com calagem uniforme<sup>2</sup>.

| Genótipos  | Anéis <sup>3</sup>     |           |            |          | - Média |
|------------|------------------------|-----------|------------|----------|---------|
|            | 1                      | 2         | 3          | 4        |         |
| UFV-1      | 108,6 A <sup>4</sup> a | 99,0 Aa   | 101,6 Aab  | 53,7 Ba  | 90,7 a  |
| Cristalina | 101,7 Aa               | 115,0 Aa  | 116,9 Aab  | 98,0 Aa  | 107,9 a |
| IAC-2      | 124,4 Aa               | 123,8 Aa  | 132,3 Aab  | 89,6 Aa  | 117,5 a |
| Paraná     | 75,8 Aa                | 82,9 Aa   | 72,1 Ab    | 61,4 Aa  | 73,0 a  |
| St. Rosa   | 101,1 Aa               | 107,6 Aa  | 96,5 Aab   | 102,5 Aa | 101,9 a |
| UFV-2      | 101,2 BCa              | 135,6 ABa | 155,7 Aa   | 74,7 Ca  | 116,8 a |
| UFV-4      | 113,1 Ba               | 147,1 Aa  | 144,0 ABab | 68,0 Ca  | 118,0 a |
| IAC-6      | 109,0 Aa               | 107,0 Aa  | 96,2 Aab   | 74,2 Aa  | 96,6 a  |
| Doko       | 96,2 A a               | 107,4 Aa  | 81,9 Ab    | 51,2 Aa  | 84,2 a  |
| Bragg      | 100,2 ABa              | 135,1 Aa  | 102,1 ABab | 87,2 Ba  | 106,1 a |
| Média      | 103,1 A                | 116,0 A   | 109,9 A    | 76,0 B   | 101,3   |
| CV = 23%   |                        |           |            |          |         |

<sup>1</sup> Gradiente de calagem correspondente à aplicação de 6,4; 2,8; 0,8 e 0 t/ha na porção de solo do respectivo anel.

<sup>2</sup> Calagem uniforme em todo o solo do vaso, correspondente à aplicação de 6,4 t/ha.

<sup>3</sup> Quatro anéis de 10 cm de diâmetro e 10 cm de altura, sobrepostos, formam o vaso.

<sup>4</sup> As médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

sas, principalmente no campo, quanto ao comportamento das espécies em relação ao Al. Por exemplo, Muzilli et al. (1978) classificaram a soja como muito mais sensível à toxidez de Al que o trigo em razão de sua maior resposta à calagem. No entanto, Miranda & Lobato (1978) encontraram alta resposta do trigo, com produções nulas de duas das quatro variedades testadas, quando o solo não era corrigido, e menor resposta do feijão à calagem. Ao mesmo tempo, comparando os trabalhos de Arminger et al. (1968) com os de Bahia Filho et al. (1976), Pitta et al. (1976), bem como os do presente trabalho, verifica-se que a soja é, aparentemente, mais tolerante ao Al que o sorgo e o milho.

Para ensaios de resposta à calagem, normalmente, aplicam-se doses de corretivo e uma fertilização uniforme, incorporadas na camada superficial (Miranda & Lobato 1978, Muzilli et al. 1978). Para seleção de genótipos tolerantes ao Al, em campo, faz-se apenas a fertilização (Bahia Filho et al. 1976, Pitta et al. 1976).

No primeiro caso, não havendo restrição de

umidade, deve ocorrer muita semelhança no comportamento das espécies e de seus genótipos nas parcelas com níveis mais elevados de calcário. Nas parcelas com níveis mais baixos de corretivo ou sem correção, os genótipos ou as espécies mais eficientes na absorção de nutrientes, principalmente P e Ca, serão mais produtivos e poderão contornar o efeito do Al (Jones 1961), Cruz et al. 1967, Lance & Pearson 1969, Foy 1974 e 1976), mesmo sendo o crescimento do sistema radicular parcialmente atingido pela presença do Al, ficando, então, caracterizadas diferenças genotípicas quanto à tolerância ao Al, no que diz respeito à sua interferência na nutrição da planta.

Em condições limitadas de suprimento d'água, os genótipos ou as espécies que emitirem um sistema radicular mais profundo, conseguem minimizar o déficit hídrico e sobressaem, caracterizando diferenças quanto à tolerância ao Al nos aspectos de crescimento e aprofundamento do sistema radicular. Porém, nas parcelas com níveis baixos de corretivo ou sem correção, esses genótipos podem, juntamente com os demais, sofrer restrições no as-





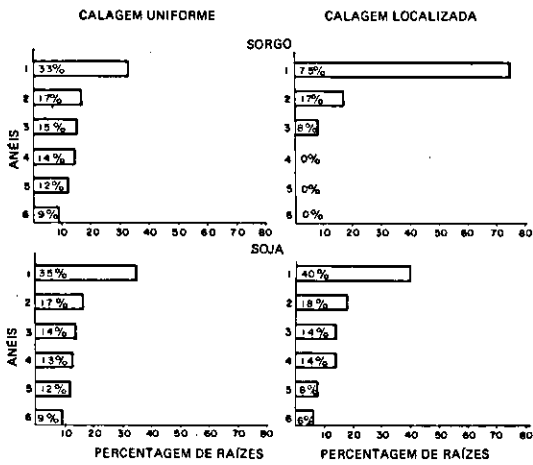


FIG. 1. Distribuição percentual do sistema radicular dos genótipos de sorgo IS 5769 C e de soja - variedade Bragg - em relação a localização da calagem. Calagem uniforme - aplicada em todo o volume de solo do vaso. Calagem localizada - aplicada nos 5 centímetros superiores (primeiro anel).

TABELA 6. Produção de matéria seca da parte aérea e do sistema radicular do genótipo de sorgo IS 5769 C e de soja variedade Bragg, em relação à localização da calagem no vaso.

| Espécie | Calagem                 | Parte aérea       | Sistema radicular |
|---------|-------------------------|-------------------|-------------------|
|         |                         | Gramas/vaso       |                   |
| Soja    | Uniforme <sup>1</sup>   | 1,90 <sup>3</sup> | 0,91              |
|         | Localizada <sup>2</sup> | 1,72              | 0,91              |
|         | Média                   | 1,81              | 0,91              |
| Sorgo   | Uniforme                | 0,83              | 0,84              |
|         | Localizada              | 0,88              | 0,66              |
|         | Média                   | 0,85              | 0,75              |
| Média   | Uniforme                | 1,36              | 0,87              |
|         | Localizada              | 1,31              | 0,79              |
|         | Média                   | 1,33              | 0,83              |
| CV      |                         | 21,9              | 28,6              |

<sup>1</sup> Calagem uniforme em todo o solo do vaso.  
<sup>2</sup> Calagem apenas nos primeiros 5 cm de solo num vaso com 30 cm de altura.  
<sup>3</sup> Houve diferença estatística entre o comportamento das espécies, não ocorrendo efeito dos demais tratamentos e suas interações.



FIG. 2.1.

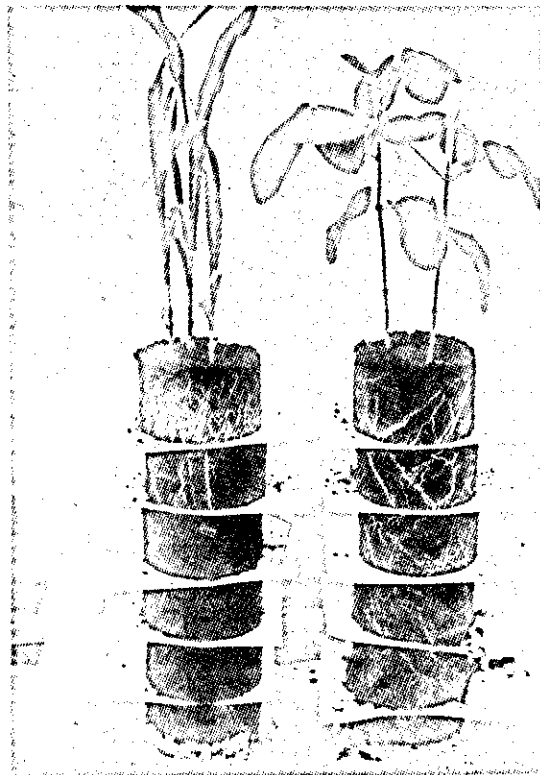


FIG. 2.2.

FIG. 2. Distribuição dos sistemas radiculares do genótipo de sorgo IS 5769 C e de soja - variedade Bragg, em relação a localização da calagem. Calagem uniforme = calagem aplicada em todo o solo do vaso. Calagem localizada = calagem aplicada nos 5 cm superiores (primeiro anel). 2.1. - comparação entre os 4 tratamentos. 2.2. - detalhe da diferença do comportamento entre as espécies.

TABELA 7. Resultados de análises de amostras de solo coletadas nos anéis dos vasos, 33 dias após o plantio do genótipo de sorgo IS 5769 C e de soja variedade Bragg, em relação à localização de calagem.

| Elemento                              | Anéis | Soja               |                   | Sorgo  |         | Média  |        | Média do Anel |
|---------------------------------------|-------|--------------------|-------------------|--------|---------|--------|--------|---------------|
|                                       |       | Calagem            |                   | Unif.  | Loc.    | Unif.  | Loc.   |               |
|                                       |       | Unif. <sup>1</sup> | Loc. <sup>2</sup> |        |         |        |        |               |
| pH<br>(Água 1:25)<br>CV = 5,2%        | 1     | 5,3 Aa             | 5,3 Aa            | 5,2 Aa | 5,4 Aa  | 5,3 Aa | 5,3 Aa | 5,3 a         |
|                                       | 2     | 5,2 Aa             | 4,5 Aab           | 5,2 Aa | 4,6 Aab | 5,2 Aa | 4,5 Ab | 4,9 ab        |
|                                       | 3     | 5,1 Aa             | 4,6 Aab           | 5,1 Aa | 4,4 Ab  | 5,1 Aa | 4,4 Ab | 4,7 b         |
|                                       | 4     | 5,1 Aa             | 4,4 Ab            | 5,1 Aa | 4,3 Bb  | 5,1 Aa | 4,4 Ab | 4,7 b         |
|                                       | 5     | 5,0 Aa             | 4,4 Ab            | 5,1 Aa | 4,4 Ab  | 5,1 Aa | 4,4 Ab | 4,7 b         |
|                                       | 6     | 5,1 Aa             | 4,4 Ab            | 5,2 Aa | 4,4 Bb  | 5,1 Aa | 4,4 Ab | 4,7 b         |
|                                       | Média | 5,1 A              | 4,6 A             | 5,1 A  | 4,6 A   | 5,1 A  | 4,6 A  | 4,8           |
| Cálcio<br>(meq/100 g)<br>CV = 5,5%    | 1     | 3,1 Aa             | 3,0 Aa            | 3,2 Aa | 3,1 Aa  | 3,2 Aa | 3,1 Aa | 3,1 a         |
|                                       | 2     | 3,1 Aa             | 0,7 Bb            | 3,2 Aa | 0,7 Bb  | 3,2 Aa | 0,7 Bb | 1,9 b         |
|                                       | 3     | 3,2 Aa             | 0,6 Bb            | 3,3 Aa | 0,6 Bb  | 3,2 Aa | 0,6 Bb | 1,9 b         |
|                                       | 4     | 3,4 Aa             | 0,7 Bb            | 3,5 Aa | 0,7 Bb  | 3,5 Aa | 0,7 Bb | 2,1 b         |
|                                       | 5     | 3,5 Aa             | 0,7 Bb            | 3,4 Aa | 0,7 Bb  | 3,5 Aa | 0,7 Bb | 2,1 b         |
|                                       | 6     | 3,4 Aa             | 0,8 Bb            | 3,5 Aa | 0,8 Bb  | 3,5 Aa | 0,8 Bb | 2,1 b         |
|                                       | Média | 3,3 A              | 1,1 B             | 3,3 A  | 1,1 B   | 3,3 A  | 1,1 B  | 2,2           |
| Magnésio<br>(meq/100 g)<br>CV = 10,7% | 1     | 0,7 Aa             | 0,6 Aa            | 0,7 Aa | 0,7 Aa  | 0,7 Aa | 0,7 Aa | 0,7 a         |
|                                       | 2     | 0,7 Aa             | 0,2 Bb            | 0,7 Aa | 0,2 Bb  | 0,7 Aa | 0,2 Bb | 0,4 b         |
|                                       | 3     | 0,7 Aa             | 0,1 Bb            | 0,7 Aa | 0,1 Bb  | 0,7 Aa | 0,1 Bb | 0,4 b         |
|                                       | 4     | 0,8 Aa             | 0,2 Bb            | 0,8 Aa | 0,2 Bb  | 0,8 Aa | 0,2 Bb | 0,5 b         |
|                                       | 5     | 0,9 Aa             | 0,2 Bb            | 0,8 Aa | 0,2 Bb  | 0,8 Aa | 0,2 Bb | 0,5 b         |
|                                       | 6     | 0,8 Aa             | 0,2 Bb            | 0,9 Aa | 0,2 Bb  | 0,8 Aa | 0,2 Bb | 0,5 b         |
|                                       | Média | 0,8 A              | 0,3 B             | 0,8 A  | 0,3 B   | 0,8 A  | 0,3 B  | 0,5           |
| Fósforo<br>(ppm)<br>CV = 6,4%         | 1     | 14 Aa              | 13 Ba             | 14 Aa  | 13 Ba   | 14 Aa  | 18 Ba  | 13 a          |
|                                       | 2     | 2 Ab               | 2 Ab              | 2 Ab   | 2 Ab    | 2 Ab   | 2 Ab   | 2 b           |
|                                       | 3     | 2 Ab               | 2 Ab              | 2 Ab   | 2 Ab    | 2 Ab   | 2 Ab   | 2 b           |
|                                       | 4     | 2 Ab               | 2 Ab              | 1 Ab   | 2 Ab    | 1 Ab   | 2 Ab   | 2 b           |
|                                       | 5     | 2 Ab               | 2 Ab              | 2 Ab   | 2 Ab    | 2 Ab   | 2 Ab   | 2 b           |
|                                       | 6     | 2 Ab               | 2 Ab              | 2 Ab   | 2 Ab    | 2 Ab   | 2 Ab   | 2 b           |
|                                       | Média | 4 A                | 4 A               | 4 A    | 4 A     | 4 A    | 4 A    | 4             |
| Potássio<br>(ppm)<br>CV = 10,7%       | 1     | 102 Aa             | 77 Ba             | 90 Aa  | 52 Bb   | 96 Aa  | 64 Ba  | 80 ab         |
|                                       | 2     | 93 Aa              | 73 Aa             | 105 Aa | 83 Ba   | 99 Aa  | 78 Ba  | 88 a          |
|                                       | 3     | 61 Ab              | 63 Aa             | 73 Ab  | 72 Aab  | 67 Ab  | 67 Aa  | 67 bc         |
|                                       | 4     | 66 Ab              | 66 Aa             | 69 Ab  | 61 Aab  | 67 Ab  | 63 Aa  | 65 c          |
|                                       | 5     | 67 Ab              | 70 Aa             | 70 Ab  | 65 Aab  | 68 Ab  | 67 Aa  | 68 bc         |
|                                       | 6     | 73 Ab              | 87 Aa             | 76 Ab  | 74 Aab  | 74 Ab  | 80 Aa  | 77 abc        |
|                                       | Média | 77 A               | 73 A              | 80 A   | 68 A    | 78 A   | 70 A   | 74            |
| Alumínio<br>(meq/100 g)<br>CV = 7,3%  | 1     | 0,4 Aa             | 0,5 Aa            | 0,5 Aa | 0,5 Aa  | 0,5 Aa | 0,5 Aa | 0,5 a         |
|                                       | 2     | 0,5 Ba             | 1,9 Ab            | 0,5 Ba | 1,9 Ab  | 0,5 Ba | 1,9 Ab | 1,2 b         |
|                                       | 3     | 0,3 Ba             | 2,0 Ab            | 0,5 Ba | 2,0 Ab  | 0,4 Ba | 2,0 Ab | 1,2 b         |
|                                       | 4     | 0,4 Ba             | 2,0 Ab            | 0,4 Ba | 1,9 Ab  | 0,4 Ba | 2,0 Ab | 1,2 b         |
|                                       | 5     | 0,3 Ba             | 1,9 Ab            | 0,4 Ba | 1,9 Ab  | 0,3 Ba | 1,9 Ab | 1,1 b         |
|                                       | 6     | 0,3 Ba             | 1,9 Ab            | 0,3 Ba | 1,7 Ab  | 0,3 Ba | 1,8 Ab | 1,1 b         |
|                                       | Média | 0,4 B              | 1,7 A             | 0,4 B  | 1,7 A   | 0,4 B  | 1,7 A  | 1,1           |

TABELA 7. Continuação.

| Elemento                  | Anéis | Soja               |                   | Sorgo   |          | Média   |         | Média do Anel |
|---------------------------|-------|--------------------|-------------------|---------|----------|---------|---------|---------------|
|                           |       | Calagem            |                   | Calagem |          | Calagem |         |               |
|                           |       | Unif. <sup>1</sup> | Loc. <sup>2</sup> | Unif.   | Loc.     | Unif.   | Loc.    |               |
|                           | 1     | 8,9 Aa             | 11,6 Ac           | 10,0 Aa | 11,5 Ac  | 9,5 Bab | 11,5 Ac | 10,5 c        |
| Saturação de Alumínio (%) | 2     | 9,9 Ba             | 63,5 Aab          | 10,6 Ba | 62,3 Ab  | 10,3 Ba | 62,9 Aa | 36,6 ab       |
|                           | 3     | 7,8 Ba             | 66,5 A            | 10,4 Ba | 67,0 Aa  | 9,1 Bab | 66,7 Aa | 37,9 a        |
|                           | 4     | 8,4 Ba             | 66,2 Aab          | 8,1 Ba  | 64,3 Aa  | 8,3 Bab | 65,3 Aa | 36,7 ab       |
|                           | 5     | 7,1 Ba             | 63,1 Aab          | 7,7 Ba  | 63,0 Aab | 7,4 Bab | 63,0 Aa | 35,2 b        |
|                           | 6     | 7,0 Ba             | 60,1 Ab           | 6,1 Ba  | 59,0 Ab  | 6,7 Bb  | 59,5 Ab | 33,1 b        |
|                           | Média | 8,2 B              | 55,2 A            | 8,8 B   | 54,5 A   | 8,5 B   | 54,8 A  | 31,7          |

<sup>1</sup> Calagem uniforme em todo o vaso e adubação nos primeiros 5 cm de solo (primeiro anel)

<sup>2</sup> Calagem e adubação apenas nos primeiros 5 cm de solo no vaso (primeiro anel)

<sup>3</sup> Para cada espécie, as médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem, pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

pecto nutricional, o que pode resultar num comportamento semelhante quanto à produção de grãos.

Portanto, paradoxalmente, parece que os genótipos ou as espécies tolerantes ao Al, quanto ao aspecto de aprofundamento do sistema radicular, são detectados, de forma mais efetiva, em campo, nas parcelas corrigidas, com restrição d'água, ao passo que a tolerância ao Al, quanto ao aspecto nutricional, é verificada nas parcelas com níveis mais baixos de correção, sem a ocorrência de déficits hídricos. Para os dois critérios (nutrição e aprofundamento de raízes), a seleção deve ocorrer nas parcelas sem correção, em condições restritas de suprimento d'água.

Dessa forma, parece que o critério de tolerância ao Al toma dois sentidos bem distintos, que precisam ser mais bem definidos para facilitar a solução do problema.

REFERÊNCIAS

ARMINGER, W.H.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & CALDWELL, B.E. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agron. J.*, 60:67-70, 1968.

BAHIA FILHO, A.F. de C.; FRANÇA, G.E. de; PITTA, G.V.E.; MAGNAVACA, R.; MENDES, J.F.; BAHIA, F.G.F.T. de C. & PEREIRA, P. Avaliação de linha-

gens e populações de milho em condições de elevada acidez. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11, Piracicaba, 1976. Anais ... Piracicaba, ESALQ, 1976. p.51-8.

BOWLING, D.J.F. Uptake of ions by plant roots. New York, John Wiley & Sons, 1976. 211p.

CLARKSON, D.T. Interactions between aluminium and phosphorus on root surfaces cell wall material. *Plant soil*, 27:347-55, 1967.

CLARKSON, D.T. Metabolic aspects of aluminium toxicity and some possible mechanisms for resistance. In: RORISON, I.H., ed. Ecological aspects of the mineral nutrition of plants. Blackwell, Oxford and Edinburg, 1969. p.381-97.

CRUZ, A.D.; HAAG, H.P.; SARRUGE, J.R. & MALAVOLTA, E. Interação entre alumínio e fósforo, em duas variedades de trigo (*Triticum vulgare L.*) cultivado em solução nutritiva. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 24:119-29, 1967.

ESAU, K. Anatomia das plantas com sementes. Trad. de Berta Lange de Morretes. São Paulo, Edgard Blücher, 1976. 293p.

FOY, C.D. Differential aluminum and manganese tolerance of plant species and varieties in acid soils. *Cl. e Cult.*, 28:150-5, 1976.

FOY, C.D. Effects of aluminum of plant growth. In: CARSON, E.W., ed. The plant root and its environment. Charlottesville, University Press of Virginia, 1974. p.601-42.

FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & ARMINGER, W.H. Aluminum tolerance of soybean varieties in relation to calcium nutrition. *Agron. J.*, 61:505-11, 1969.

- GONZALES-ERICO, E.; WOLF, J.M.; NADERMAN, G.; SOARES, W.V. & GALRÃO, E.Z. Relações entre a toxidez de alumínio, desenvolvimento de raízes, absorção de água e produção de milho num oxisol (Latossolo Vermelho-Escuro) do Distrito Federal. *Cl. e Cult.*, 28:181-2, 1976.
- HANSON, W.D. & KAMPRATH, E.J. Selection of aluminum tolerance in soybeans based on seedling-root growth. *Agron. J.*, 71:581-6, 1979.
- JONES, L.H. Aluminium uptake and toxicity in plants. *Plant Soil*, 13:297-310, 1961.
- KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 34:252-4, 1970.
- LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentration of aluminum on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:95-8, 1969.
- LEVITT, J. Responses of plants to environmental stresses. New York, Academic Press, 1972. 697p.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36:799-807, 1972.
- MELO, B. de. Tolerância da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) à saturação de alumínio, em condições de casa de vegetação, para solo sob cerrado. Lavras, ESAL, 1980. 56p. Tese Mestrado.
- MIRANDA, L.N. & LOBATO, E. Tolerância de variedades de feijão e de trigo ao alumínio e à baixa disponibilidade de fósforo no solo. *R. bras. Ci. Solo*, 2: 44-50, 1978.
- MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI, J.; LANTMANN, A.F.; GARCIA, A. & CATANEO, A. Tolerância de cultivares de soja e trigo à acidez do solo. *R. bras. Ci. Solo*, 2:34-40, 1978.
- OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.N. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Cl. e Cult.*, 28:171-80, 1976.
- PALHANO, J.B.; MENOSSO, O.G.; KIHHL, R.A.S.; LANTMANN, A.F. & CAMARGO, R.J. Identificação de cultivares de soja tolerantes ao alumínio livre e com alta capacidade de extração de fósforo do solo. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. Resultados de pesquisa de soja - 1980/81. Londrina, 1981. p.212-4.
- PITTA, G.V.E.; TREVISAN, W.L.; SCHAFFERT, R.E.; FRANÇA, G.E. & BAHIA FILHO, A.F.C. Avaliação de linhagens de sorgo em condições de elevada acidez - nota prévia. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MILHO E SORGO, 11, Piracicaba, ESALQ, 1976. Anais... p.553-7.
- RASMUSEN, H.P. Entry and distribution of aluminum in *Zea mays*. The mode of entry and distribution of aluminum in *Zea mays*; electron microprobe X-ray analysis. *Planta*, 81:28-37, 1968.
- SARTAIN, J.B. & KAMPRATH, E.J. Effect of liming a highly Al-saturated soil on the top and root growth and soybean nodulation. *Agron. J.*, 67:507-10, 1975.
- SARTAIN, J.B. & KAMPRATH, E.J. Aluminum tolerance of soybean cultivars based on root elongation in solution culture compared with growth in acid soil. *Agron. J.*, 70:17-20, 1978.
- SILVA, J.B.C.; NOVAIS, R.F. & SEDIYAMA, C.S. Identificação de genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) tolerantes à toxidez de alumínio. s.n.t.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, Min. Agric. EPFS, 1969. (Boletim Técnico, 7).