

# ABSORÇÃO DE FÓSFORO COMO CRITÉRIO DE SELEÇÃO DE GENÓTIPOS DE SOJA QUANTO À TOLERÂNCIA AO ALUMÍNIO<sup>1</sup>

ALFREDO JOAQUIM CASTELLS<sup>2</sup>, NAIRAM FÉLIX DE BARROS<sup>3</sup>, ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS, RENATO SANT'ANNA<sup>4</sup> e JÚLIO CÉSAR LIMA NEVES<sup>5</sup>

**RESUMO** - Utilizou-se a absorção de fósforo (P) como critério de seleção de genótipos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) quanto à tolerância ao alumínio (Al). Plantas dos genótipos Bragg, IAC-2, UFV-1, UFV-4, UFV-79-55 e UFV-80-65 foram inicialmente cultivadas em solução nutritiva completa, contendo Al (2 ppm) ou não, sob condições de casa de vegetação. As plantas foram posteriormente transferidas para uma câmara de crescimento onde, num primeiro ensaio, sob os mesmos tratamentos quanto ao Al, estudou-se a absorção de P segundo a metodologia de Claassen & Barber. Constatou-se que o Al aumentou a absorção de P, exceto no UFV-1, onde ela não variou, e no Bragg em que ela diminuiu, quando comparadas com o tratamento sem Al. A seguinte ordem quanto à taxa de absorção de P em presença de Al foi estabelecida: UFV-4 > IAC-2 > UFV-1 > UFV-79-55 > UFV-80-65 > Bragg. Num segundo ensaio, e com os mesmos tratamentos, determinaram-se os parâmetros cinéticos (Imax e Km) da absorção de P, usando-se, neste caso, o <sup>32</sup>P. O Al tendeu a diminuir o Imax no UFV-80-65, Bragg, UFV-79-55 e UFV-4 e aumentou no IAC-2 e UFV-1. O Km de todos os genótipos foi aumentado pela presença do Al. Os resultados indicaram que estes parâmetros (Imax e Km) podem ser utilizados como critério para seleção de genótipos de soja quanto à tolerância ao Al.

Termos para indexação: *Glycine max*, solução nutritiva, parâmetros cinéticos.

## PHOSPHORUS UPTAKE AS A CRITERION FOR SELECTING ALUMINUM TOLERANT SOYBEAN GENOTYPES

**ABSTRACT** - This experiment was carried out to evaluate the effectiveness of phosphorus (P) uptake kinetic parameters as indicators of aluminum (Al) tolerance of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivars. Seedlings of six soybean cultivars (Bragg, IAC-2, UFV-1, UFV-4, UFV-79-55, and UFV-80-65) were grown in complete nutrient solution, in which 2 ppm Al were applied or not. Then they were transferred to a growth chamber and the P uptake study was conducted following the Claassen-Barber approach. Plants of IAC-2, UFV-4, UFV-79-55, and UFV-80-65 increased their P uptake when Al was present in the nutrient solution. Under this condition, there was a decrease in the uptake of P by plants of Bragg and no changes in those of UFV-1. The rate of P uptake by plants in the presence of Al followed the order: UFV-4 > IAC-2 > UFV-1 > UFV-79-55 > UFV-80-65 > Bragg. The Imax values of IAC-2 and UFV-1 increased and those of UFV-80-65, Bragg, UFV-79-55, and UFV-4 tended to decrease when Al was present in the nutrient solution. On the other hand, the Km values of all cultivars increased in presence of Al. It is concluded that the parameters Imax and Km of P uptake are good indicators of Al tolerance of soybean cultivars, and can be used for screening programs.

Index terms: *Glycine max*, nutrient solution, kinetic parameters.

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a cultura da soja tem apresentado grande expansão, principalmente em direção às áreas de cerrados. Essas regiões, embora apresentem, em geral, boas condições físicas e caracterís-

ticas de relevo favoráveis a sua mecanização, possuem solos com elevada acidez e baixa fertilidade natural, particularmente em fósforo (P) (Lopes & Cox 1977). Dentre os fatores de acidez do solo, o alumínio (Al) está entre os que mais limitam a produtividade da maioria das culturas (Foy 1976).

Uma solução para o problema da acidez do solo é a prática da calagem visando à neutralização do Al trocável. Porém, a toxicidade do Al é particularmente problemática em subsolos fortemente ácidos, pela dificuldade da incorporação de calcário a profundidades maiores que a da camada arável. Nessa condição, o Al pode inibir o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, restringindo, assim, a utilização de nutrientes do subsolo

<sup>1</sup> Aceito para publicação em 26 de junho de 1985.

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

<sup>2</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Univ. Nacional de Córdoba, Córdoba 5000, Argentina.

<sup>3</sup> Eng. - Flor., Ph.D., Univ. Fed. de Viçosa, CEP 36570 Viçosa, MG.

<sup>4</sup> Eng. - Agr., Ph.D., Univ. Fed. de Viçosa.

<sup>5</sup> Eng. - Agr., M.Sc., Univ. Fed. de Viçosa.

e a absorção de água, o que pode resultar em menores rendimentos, como conseqüência de "veranicos" (Foy 1976, Howeler & Cadavid 1976, Olmos & Camargo 1976).

Do ponto de vista prático, outra alternativa é de, também, utilizar plantas com tolerância a altos níveis de Al e adaptadas a solos ácidos (Foy et al. 1973).

O excesso de Al pode interferir na absorção, translocação e uso de P, cálcio (Ca), magnésio (Mg) e outros elementos essenciais ao vegetal (Lance & Pearson 1969, Foy 1974). Em algumas espécies, alguns sintomas de toxicidade de Al são similares aos de severa deficiência de P (Foy & Brown 1964, Furlani & Clark 1981); outros sintomas, particularmente os relativos ao crescimento radicular, são semelhantes aos de deficiência de Ca (Hallsworth et al. 1957), podendo ocorrer a formação de folhas recurvadas e o colapso do pecíolo, como freqüentemente observado em soja (Armingier et al. 1968).

Tanto em gramíneas quanto em leguminosas forrageiras, têm sido verificados diferentes graus de tolerância ao Al. As espécies sensíveis mostram, geralmente, baixa concentração de P na parte aérea e é freqüentemente observado maior acúmulo desse elemento nas raízes (Foy & Brown 1964, Andrew et al. 1973). Contudo, em trabalho feito com *Stylosanthes humilis*, Mosquin (1978) encontrou que os teores de P da parte aérea e, principalmente, do sistema radicular, aumentaram progressivamente com a elevação da concentração de Al, até 10 ppm, na solução nutritiva. Resultados semelhantes foram obtidos por Oliveira (1979), em mandioca.

A necessidade de se obter e selecionar variedades tolerantes ao Al tem levado ao desenvolvimento de várias metodologias para avaliar a tolerância das plantas ao elemento.

Utilizando-se vários níveis de calagem foram testadas e selecionadas cultivares de arroz (Howeler & Cadavid 1976), de soja e de trigo (Muzilli et al. 1978) quanto à tolerância ao Al.

As variações do pH da solução nutritiva têm-se mostrado associadas à tolerância diferencial ao Al em diversas espécies vegetais (Foy et al. 1965, Mugwira et al. 1976). Porém, entre variedades de soja não foi encontrada essa associação (Foy 1974).

Em muitas espécies, a presença de Al no meio de cultivo afeta o desenvolvimento das plantas e reduz o crescimento radicular (Fleming & Foy 1968, Silva 1983); em outras, há redução do comprimento, sem que o peso do sistema radicular seja afetado (Mosquin 1978). Contudo, para a soja, não houve qualquer redução do crescimento radicular nem em genótipos supostamente sensíveis, nem nos tolerantes ao Al, quando crescidos na presença deste elemento (Silva 1983).

Em razão da evidente interferência do Al sobre a absorção de P e Ca, além de outros elementos, pode-se levantar a hipótese de que os diferentes graus de tolerância de variedades de soja ao Al, comumente relatados, sejam conseqüência de uma absorção diferenciada de nutrientes, principalmente de P e Ca. Portanto, é possível que a velocidade de absorção iônica, a afinidade do sistema de absorção por esses íons e as eventuais mudanças desses parâmetros permitam detectar diferenças de tolerância entre essas variedades.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do Al sobre a absorção de P por seis genótipos de soja, com o propósito de selecioná-los quanto à tolerância ao Al.

## MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) dos genótipos UFV-1, UFV-4, UFV-79-55 (var. Sucupira), UFV-80-65 (var. Rio Doce), IAC-2, e Bragg, foram colocadas para germinar em caixas de areia lavada.

Após a emergência, quatro plântulas de cada genótipo foram transferidas para caixas contendo 25 litros da solução nutritiva de Andrew (Andrew et al. 1973), modificada quanto à fonte e nível de nitrogênio e apresentando ausência de NaCl. A composição da solução nutritiva utilizada é a seguinte: 2,5 mM  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 1,0 mM  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 0,5 mM  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 1 mM  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 64,6  $\mu\text{M}$   $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 17,9  $\mu\text{M}$  citrato férrico; 0,3  $\mu\text{M}$   $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 76,5  $\mu\text{M}$   $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 4,55  $\mu\text{M}$   $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 46,25  $\mu\text{M}$   $\text{H}_3\text{BO}_3$  e 0,015  $\mu\text{M}$   $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ .

Quatro dias após a transferência das plântulas, foi efetuada a troca da solução e, em dois terços das caixas, a solução nutritiva recebeu  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ , de modo a se obterem 2 ppm de Al. O pH foi ajustado para 4,2 e corrigido diariamente com HCl ou NaOH 0,1 N. As soluções foram continuamente arejadas e as trocas foram efetuadas a cada quatro dias e, além disso, efetuou-se a monitoração e ajuste dos níveis de P, Ca e Al a cada dois dias.

Aos 16 dias de crescimento em solução nutritiva, na casa-de-vegetação, as plantas foram selecionadas pela sua

uniformidade em tamanho. Duas plantas de cada genótipo foram colocadas em vasos com 1,5 litro de solução e levadas para a câmara de crescimento. As soluções dos vasos foram continuamente arejadas durante o transcurso dos ensaios. A câmara teve sua temperatura controlada em torno de 25°C, a intensidade luminosa de 7.500 lux à altura das folhas superiores, aproximadamente, e a umidade relativa em torno de 50%. Nessas condições, as plantas permaneceram por 24 horas na solução de crescimento, excluindo-se o Al da solução para a metade dos vasos que antes continham esse elemento. Esse tratamento foi utilizado para evitar o efeito do Al na precipitação do P na parede celular e espaço livre aparente das raízes como sugerem diversos autores (Wright & Donahue 1953, Clarkson 1966, 1967, McCormick & Borden 1974, Calbo 1978). Em todas as soluções, também o ferro (Fe) foi excluído, para evitar sua possível influência na absorção do P (Franklin 1969), enquanto a exclusão do P teve por objetivo aumentar a capacidade das plantas para absorver este elemento (Jungk, citado por Vale 1982). Dessa forma, foram constituídos três tratamentos para cada estudo: plantas crescidas em solução sem Al e absorção sem Al (tratamento 0); plantas crescidas em solução com Al e absorção com Al (tratamento 2); plantas crescidas em solução com Al e absorção sem Al (tratamento 2/0). Cada um desses tratamentos foi repetido duas vezes, e os 36 vasos (três tratamentos x seis genótipos x duas repetições) foram distribuídos, na câmara de crescimento, em casualização completa.

Transcorrido esse período, e uma hora após o término do período escuro, as soluções foram trocadas novamente por outras de idêntica composição, mas com 2 ppm de P. Alíquotas de 2 ml da solução de cada vaso foram tomadas a intervalos de quatro horas durante o período de iluminação (17 horas), sendo que a última amostragem foi feita 24 horas após a primeira. Para determinar o decréscimo da concentração de P da solução, esta foi determinada pelo método do azul de molibdênio segundo Braga & Defelipo (1974). Com isso, pretendeu-se avaliar uma metodologia que pudesse ser utilizada de forma extensiva e rápida para a seleção de variedades de soja tolerantes ao Al.

O segundo ensaio foi conduzido após um período de exclusão de P da solução nutritiva por 48 horas e consistiu no estudo da exaustão do íon da solução a fim de se obterem os parâmetros cinéticos de absorção iônica, isto é,  $I_{max}$  - a taxa máxima de influxo do íon - e  $K_m$  - constante de Michaelis - Menten (concentração onde o influxo é igual à metade de  $I_{max}$ ), segundo metodologia proposta por Claassen & Barber (1974) e utilizando um processo gráfico-matemático adaptado por Ruiz (1985).

Para isso, uma hora antes do início do estudo de exaustão, a solução foi trocada por outra contendo P não marcado na mesma concentração que na solução de exaustão. Com isso, objetivou-se alcançar o equilíbrio estacionário de absorção do elemento, o que é requerido para a aplicação do modelo cinético (Epstein & Hagen 1952).

As plantas foram a seguir transferidas para outros va-

sos com 1,5 litro de solução nutritiva marcada com  $2,22 \times 10^5 \text{ Bq } ^{32}\text{P}/\text{vaso}$  ( $\text{NaH}_2 ^{32}\text{PO}_4$  livre de carregador), cuidadosamente misturadas, utilizando-se um bastão e arejadas durante dez minutos, antes de iniciar a exaustão.

A concentração inicial de P para se obter a curva característica de exaustão da solução nutritiva, num período de 5 - 8 horas, foi determinada segundo experimentos prévios, escolhendo-se a concentração de 20  $\mu\text{M}$ .

As soluções nutritivas foram amostradas por um período de nove horas, inicialmente em intervalos de 30 minutos. Entre a terceira e a sexta hora, foram amostradas em intervalos de uma hora e, finalmente, tornou-se a usar intervalos de 30 minutos, totalizando 15 amostragens/vaso. Alíquotas de 1 ml, depois de misturadas com 10 ml de água, foram submetidas a um espectrômetro beta de cintilação líquida, para determinar a atividade do  $^{32}\text{P}$  pelo efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão 1977). As contagens foram feitas com um erro  $2\delta$  máximo de 7%.

No começo e no final do ensaio, a pesagem do vaso com a solução nutritiva permitiu estimar a quantidade de água perdida por transpiração, para fazer as correções do volume da solução no vaso em cada tempo de amostragem.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Absorção de fósforo ( $^{31}\text{P}$ )

Na ausência de Al, o influxo de P no período de 0 - 16 horas foi maior para o UFV-1, seguido do IAC-2, Bragg, UFV-80-65, UFV-79-85 e UFV-4 (Tabela 1). Já no tratamento 2, o UFV-4 apresentou o maior influxo, seguido do IAC-2, UFV-1, UFV-79-55, UFV-80-65 e, por último, o Bragg. Nessas condições, ficam nos primeiros lugares os genótipos UFV-4, IAC-2 e UFV-1, que têm sido considerados como tolerantes, e no último, um reconhecido como sensível ao Al. Quando comparado com o tratamento 0, o Al incrementou a taxa de absorção de P dos genótipos, exceto no UFV-1, onde ela não variou, e no Bragg, em que diminuiu. O aparente estímulo sobre a absorção de P concorda com os resultados de Franklin (1969) e Andrew & Berg (1973), que indicam que isso pode ser devido, em parte, ao "efeito Viets". A esse respeito, Franklin (1969, 1971) indica que os cátions polivalentes podem neutralizar as cargas negativas da superfície radicular mais efetivamente que os cátions monovalentes. Portanto, os íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , ao se aproximarem dessa superfície, encontrariam menor interferência elétrica. Também

TABELA 1. Taxa de absorção de fósforo, durante vários períodos, por plantas de seis genótipos de soja, aos 17 dias de idade, cultivadas em soluções nutritivas sem alumínio (0) ou com 2 ppm de alumínio continuamente (2) ou com a exclusão deste (2/0), 24 horas antes do estudo de absorção<sup>1</sup>.

Genótipo	Conc. Al	Período de absorção (horas)					
		0 - 4	4 - 8	8 - 12	12 - 16	16 - 24 <sup>2</sup>	0 - 16
	ppm	$\mu\text{moles. g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$					
Bragg	0	0,319	0,388	0,325	0,372	0,255	0,353
	2	0,872	0,298	0,072	0,093	0,237	0,335
	2/0	0,384	0,421	0,375	0,329	0,290	0,379
IAC-2	0	0,322	0,425	0,370	0,344	0,174	0,367
	2	0,987	0,362	0,183	0,135	0,083	0,418
	2/0	0,380	0,390	0,318	0,328	0,163	0,356
UFV-1	0	0,329	0,467	0,436	0,320	0,373	0,391
	2	0,845	0,359	0,128	0,211	0,107	0,387
	2/0	0,332	0,340	0,389	0,312	0,275	0,345
UFV-4	0	0,260	0,362	0,313	0,318	0,192	0,315
	2	1,022	0,377	0,238	0,160	0,097	0,451
	2/0	0,322	0,317	0,313	0,303	0,183	0,316
UFV-79-55	0	0,305	0,395	0,290	0,331	0,260	0,332
	2	0,873	0,388	0,155	0,104	0,101	0,381
	2/0	0,353	0,350	0,343	0,310	0,125	0,341
UFV-80-65	0	0,357	0,326	0,330	0,325	0,238	0,336
	2	0,800	0,328	0,137	0,212	0,073	0,370
	2/0	0,385	0,370	0,339	0,314	0,139	0,353

<sup>1</sup> Valores médios de duas repetições.

<sup>2</sup> Período escuro.

é possível que o Al tenha exercido algum efeito similar àquele atribuído ao Ca sobre a manutenção da permeabilidade da plasmalema e, assim, sobre o mecanismo de absorção iônica seletiva (Epstein 1961, Rains et al. 1964), particularmente nos meios de cultivo deficientes em Ca.

O aumento na taxa de absorção de P concorda também com os dados de Randall & Vose (1963), que postularam que isso acontece pelo estímulo do Al na redução do citocromo. Porém, logo após a absorção do P, este se ligaria ao Al na planta, o que poderia causar sua deficiência na parte aérea.

No tratamento 2/0, o Bragg, UFV-80-65 e UFV-79-55 apresentaram maior taxa de absorção de P que no tratamento 0, no período de 0 - 16 horas, enquanto o IAC-2 e o UFV-1 tiveram menor taxa de absorção. Os resultados desse tratamento poderiam ser comparados com aqueles obtidos por Calbo (1978), que encontrou redução na absorção

de P em raízes pré-tratadas com Al por 24 horas, sendo essa redução maior na cultivar sensível. Mas, neste trabalho, contrariamente, o Bragg (sensível) teve maior velocidade de absorção que no tratamento 0. Brauner & Sarruge (1980) também encontraram aumento, pelo efeito do Al, da absorção de P em trigo; entretanto as diferenças genéticas quanto à absorção de P não se relacionaram com o grau de tolerância ao Al das cultivares estudadas.

#### Parâmetros cinéticos de absorção de P (<sup>32</sup>P)

No tratamento 2, para todos os genótipos, foram observadas diminuições mais pronunciadas das concentrações de P das soluções nos primeiros tempos de amostragem, o que forneceu valores de influxo altos no começo da exaustão. Com base nisso, poder-se-ia dizer que o Al estimulou e elevou

a velocidade de absorção de P, como encontrado por Randall & Vose (1963). Há, também, a possibilidade de ter ocorrido alguma reação de adsorção ou precipitação do P da solução com o Al das raízes (Wright & Donahue 1953, Rorison 1965, Clarkson 1966, Calbo 1978). A supressão do Al da solução a partir das 24 horas anteriores ao experimento de exaustão (tratamento 2/0) não resultou na verificação de influxos elevados no período inicial da exaustão.

Os valores de I<sub>max</sub> e de K<sub>m</sub> obtidos foram determinados a partir da consideração da relação da quantidade do íon na solução da relação da quantidade de íon na solução (Q) em função do tempo de absorção (t), para cada tratamento e genótipo, mediante o método gráfico-matemático já mencionado. Com base nos valores de I<sub>max</sub> obtidos na ausência de Al (Tabela 2), pode-se estabelecer a se-

guinte ordem, para os genótipos quanto à taxa máxima de influxo de P: UFV-4 = UFV-1 = UFV-80-65 = Bragg > UFV-79-55 = IAC-2. (Considerando-se iguais os valores de I<sub>max</sub> que não variaram entre si em não mais do que 2%). As diferenças da I<sub>max</sub> entre os genótipos podem refletir diferenças no "giro" e/ou na concentração efetiva do carregador nas raízes, como sugerem Fried & Broeshart (1967). Nas mesmas condições de ausência de Al, o genótipo UFV-4 tendeu, ainda, a apresentar a menor K<sub>m</sub>, o que indica maior afinidade ou capacidade de os sítios de absorção ligarem-se ao íon. O UFV-4 poderia, assim, ter maior capacidade para absorver P em solos com níveis relativamente baixos do nutriente. Ademais, esse genótipo, por apresentar um dos maiores valores de I<sub>max</sub>, absorveria rapidamente P em solos com maiores concentrações do elemento. Assim, ele

TABELA 2. Valores de I<sub>max</sub> e K<sub>m</sub> da cinética de absorção de fósforo<sup>1</sup> e respectivos valores relativos<sup>2</sup>, de plantas de seis genótipos de soja, aos 20 dias de idade, cultivadas em soluções nutritivas sem alumínio (0) ou com 2 ppm de alumínio continuamente (2) ou com a exclusão deste (2/0), 24 horas antes do estudo de absorção<sup>3</sup>.

Genótipo	Conc. Al	I <sub>max</sub>	Valor relativo	K <sub>m</sub>	Valor relativo
	ppm	μmoles.g <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	%	μM	%
Bragg	0	0,4351	(100)	1,8510	(100)
	2	0,3819	(87,8)	2,1676	(117,1)
	2/0	0,4173	(95,9)	2,3621	(127,6)
IAC-2	0	0,4049	(100)	1,9992	(100)
	2	0,4794	(118,4)	2,4124	(120,7)
	2/0	0,4188	(103,4)	1,7592	(88,0)
UFV-1	0	0,4415	(100)	2,1550	(100)
	2	0,4610	(104,4)	1,7845	(82,8)
	2/0	0,4294	(97,3)	2,0741	(96,2)
UFV-4	0	0,4436	(100)	1,6328	(100)
	2	0,4340	(97,8)	1,8957	(116,1)
	2/0	0,4768	(107,5)	2,8377	(173,8)
UFV-79-55	0	0,4105	(100)	1,8382	(100)
	2	0,3713	(90,5)	2,3764	(129,3)
	2/0	0,3718	(90,6)	2,2082	(120,1)
UFV-80-65	0	0,4364	(100)	1,9613	(100)
	2	0,3859	(88,4)	2,0029	(102,1)
	2/0	0,3798	(87,0)	1,8640	(95,0)

<sup>1</sup> Valores calculados pelo método de Claassen & Barber (1974), modificado por Ruiz (1985).

<sup>2</sup> Para cada genótipo, o valor do tratamento sem alumínio foi tomado como 100%.

<sup>3</sup> Médias de duas repetições.

apresentaria mecanismo eficiente quanto à absorção de P em condições mais amplas de disponibilidade deste elemento no solo.

O tratamento 2 tendeu a diminuir o valor da  $I_{max}$  no UFV-80-65, Bragg, UFV-79-55 e UFV-4, e aumentou o valor da Km em todos eles, sendo esse incremento muito pequeno no UFV-80-65. Isso indica que o Al reduziu a capacidade de dissociação para o interior da célula do complexo íon-carregador "giro" e, simultaneamente, decresceu a capacidade de ligação do P aos sítios de absorção do carregador. Dentre estes genótipos, o menor valor absoluto de Km foi constatado no UFV-4. Comparativamente ao tratamento sem alumínio, a afinidade do carregador pelo P foi mais afetada no UFV-79-55. O Al, ao contrário do que ocorreu com os demais genótipos, provocou aumento na  $I_{max}$  dos genótipos IAC-2 e UFV-1; entretanto, enquanto que no UFV-1 se observou diminuição da Km, para o IAC-2 esse parâmetro elevou-se de maneira acentuada. Isso indica que no UFV-1 houve aumento no "giro" do carregador, além de aumento da afinidade ou da associação do P com o carregador, e que no IAC-2, embora o Al tenha diminuído a afinidade do carregador pelo P, esta diminuição foi mais que compensada pelo grande aumento da velocidade de "giro" do carregador.

Leggett et al. (1965) encontraram incremento na taxa de absorção de P induzida pelo Ca, e atribuíram esse efeito ao aumento do "giro" do carregador. Estudando o efeito do Al sobre os parâmetros cinéticos da absorção de P em *Stylosanthes*, Machado (1981) atribuiu a redução da Km à interferência do Al na capacidade de associação do carregador com o íon. Também a modificação da  $I_{max}$  foi relatada pelo autor como um reflexo do Al na velocidade de "giro" do carregador ou na sua concentração efetiva.

No tratamento 2/0, a  $I_{max}$  e a Km aumentaram no UFV-4 em relação aos outros dois tratamentos. Os genótipos IAC-2 e UFV-1 tiveram valores de  $I_{max}$  semelhantes aos obtidos no tratamento sem Al. Nos genótipos UFV-80-65 e UFV-79-55, os valores de  $I_{max}$  para esse tratamento estiveram próximos daqueles obtidos em presença de Al, o que indica que a exclusão do elemento por 24 horas ainda não teria sido suficiente para restabe-

lecer a velocidade de absorção de P. Também no Bragg e no UFV-4 houve aumento no valor de Km.

Os resultados sugerem que o UFV-1 e o IAC-2 se adaptariam ou reagiriam positivamente, aumentando a absorção de P, quando na presença de Al no meio de cultivo. O genótipo UFV-4 teria características de tolerância intermediária ao Al, visto que a  $I_{max}$  diminuiu e a Km aumentou na presença do elemento. Neste trabalho, os genótipos UFV-80-65, Bragg e UFV-79-55 tenderam a apresentar menor velocidade de absorção de P na presença de Al e foram os mais afetados dentre os testados. Talvez a baixa concentração de Al (2 ppm) utilizada neste trabalho possa, parcialmente, explicar o fato de que Ferreira (1983), utilizando esses mesmos genótipos, tenha verificado que o UFV-80-65 e o UFV-4 se sobressaíram como tolerantes ao Al em concentrações de até 6 ppm, quando o crescimento relativo da matéria seca foi considerado o parâmetro de avaliação dos efeitos dos tratamentos.

Considerando os parâmetros da cinética de absorção de P determinados, foi estimado o influxo de P de alguns genótipos para várias concentrações do elemento no meio de absorção (Tabela 3).

TABELA 3. Valores de influxo de P de vários genótipos de soja<sup>1</sup>, em função da concentração de P da solução, na ausência (0) e na presença de 2 ppm de Al (2).

Genótipo	Conc. Al	Concentração de P na solução ( $\mu\text{M}$ )				
		0,5	1,5	3,0	20	60
$\mu\text{moles.g}^{-1}.\text{h}^{-1}$						
Bragg	0	0,093	0,195	0,269	0,398	0,422
	2	0,072	0,156	0,222	0,345	0,369
IAC-2	0	0,081	0,174	0,243	0,368	0,392
	2	0,082	0,183	0,266	0,428	0,461
UFV-1	0	0,083	0,181	0,257	0,399	0,426
	2	0,101	0,211	0,289	0,423	0,448
UFV-4	0	0,104	0,212	0,287	0,410	0,432
	2	0,091	0,192	0,266	0,396	0,421

<sup>1</sup> Valores determinados a partir dos dados da Tabela 2.

Observa-se que na presença de Al o UFV-1 apresenta o maior influxo nas menores concentrações de P. Também o UFV-4 tem maior influxo que o

IAC-2. Entretanto, para as maiores concentrações, o IAC-2 tem um influxo de P superior aos dos outros genótipos. Isto pode sugerir que em baixas concentrações de P na solução do solo, ainda que com níveis consideráveis de Al, o UFV-1 teria boas condições para absorver P. Por outro lado, o UFV-4 poderia apresentar maior taxa de influxo de P naqueles solos que recebessem calagem para neutralizar o Al trocável.

É importante indicar que esses dados (Tabela 3) sugerem, também, que na seleção de genótipos e em estudos da capacidade de absorção de P e/ou de crescimento em soluções nutritivas com concentrações de P, como a solução de crescimento deste trabalho (64,6 µM), o "ranking" dos genótipos testados não mostrará necessariamente o comportamento deles no solo. É possível que isso, além da metodologia empregada, não tenha permitido encontrar associação dos parâmetros cinéticos de absorção de P com os valores de influxo de P (<sup>31</sup>P) obtidos no experimento anterior.

Apesar destas considerações, em diversos trabalhos, tanto em solução nutritiva quanto em solo, o Bragg tem sido considerado como sensível ao Al, e o UFV-1 e o IAC-2, como tolerantes (Muzilli et al. 1978, Ferreira 1983, Costa & Braga 1984). Esse comportamento parece ser bem expresso pelos parâmetros cinéticos de absorção de P determinados neste trabalho. Tais parâmetros, obtidos a partir de experimentos de curta duração, permitem, ao que parece, captar melhor as diferenças entre os genótipos de soja quanto ao Al do que os outros parâmetros tais como: produção de matéria seca, concentração de elementos na planta e mesmo melhor do que a simples determinação da taxa de influxo de P como feita neste trabalho no experimento com <sup>31</sup>P. Neste último, além da metodologia empregada, a maior concentração de P relativamente à utilizada no ensaio com <sup>32</sup>P pode, pelo menos em parte, explicar a inconsistência entre as tendências dos valores de influxo entre os dois ensaios de absorção de P realizados. Essa proposição é reforçada pelos comentários feitos anteriormente em relação aos dados da Tabela 3.

Assim, pode-se sugerir ser necessário considerar não só a taxa máxima de influxo, mas também a Km na avaliação da capacidade dos genótipos para absorver P, visando selecioná-los quanto à tolerância ao Al.

## REFERÊNCIAS

- ANDREW, C.S. & BERG, P.J. van den. The influence of aluminium on phosphate sorption by whole and excised roots of some pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:341-51, 1973.
- ANDREW, C.S.; JOHNSON, A.D. & SANDLAND, R.L. Effect of aluminium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. *Aust. J. Agric. Res.*, 24:325-39, 1973.
- ARMINGER, W.R.; FOY, C.D.; FLEMING, A.L. & CALDWELL, R.E. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminium. *Agron. J.*, 60:67-70, 1968.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. *R. Ceres*, 21:73-85, 1974.
- BRAUNER, J.L. & SARRUGE, J.R. Tolerância de cultivares de trigo (*Triticum aestivum* L.) ao alumínio e ao manganês. VI. Influência do alumínio e do manganês e do grau de tolerância a cada elemento na absorção do fósforo. *An. Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 37:895-912, 1980.
- CALBO, A.G. Efeito do alumínio sobre a absorção, o transporte e a distribuição de alguns elementos minerais, em dois cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). Viçosa, UFV, 1978. 43p. Tese Mestrado.
- CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. A method for characterizing the relation between concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.*, 54:564-8, 1974.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminium on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.*, 41:165-72, 1966.
- CLARKSON, D.T. Interactions between aluminium and phosphorus on root surface and cell wall material. *Plant Soil*, 27:347-56, 1967.
- COSTA, A. & BRAGA, J.M. Comportamento de variedades de soja a diferentes níveis de fósforo e saturação de alumínio. *R. Ceres*, 31:434-43, 1984.
- EPSTEIN, E. The essential role of calcium in selective cation transport by plant cell. *Plant Physiol.*, 36:437-44, 1961.
- EPSTEIN, E. & HAGEN, C.E. A kinetic study on the absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.*, 27:457-74, 1952.
- FERREIRA, R.P. Tolerância de cultivares de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) ao alumínio em solução nutritiva. Viçosa, UFV, 1983. 53p. Tese Mestrado.
- FLEMING, A.L. & FOY, C.D. Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties. *Agron. J.*, 60:172-6, 1968.
- FOY, C.D. Differential aluminium and manganese tolerances of plant species and varieties in acid soils. *Cl. e Cult.*, 28:150-5, 1976.

- FOY, C.D. Effects of aluminium on plant growth. In: CARSON, E.W., ed. *The plant root and its environment*. Charlottesville, Univ. Press of Virginia, 1974. p.601-42.
- FOY, C.D. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminium tolerance of plant species. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 28:27-32, 1964.
- FOY, C.D.; BURNS, G.R.; BROWN, J.C. & FLEMING, A. L. Differential aluminum tolerance of two wheat varieties associated with plant induced pH changes around the roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 29:64-7, 1965.
- FOY, C.D.; GERLOFF, G.C. & CABELMAN, W.H. Differential effects of aluminum on the vegetative growth of tomato cultivars in acid soil and nutrient solution. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.*, 98:427-32, 1973.
- FRANKLIN, R.E. Cation effects on chloride, sulfate, and phosphate uptake by excised roots. *Soil Sci.*, 112: 343-7, 1971.
- FRANKLIN, R.E. Effect of adsorbed cations on phosphorus uptake by excised roots. *Plant Physiol.*, 44: 697-700, 1969.
- FRIED, M. & BROESHART, H. *The soil-plant system in relation to inorganic nutrition*. New York, Academic Press, 1967. 358p.
- FURLANI, P.R. & CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. *Agron. J.*, 73:587-94, 1981.
- HALLSWORTH, E.G.; GREENWOOD, E.A.N. & AUDEN, J. Some nutrient interactions affecting the growth of pasture legumes in acid soils. *J. Sci. Food Agric.*, 8:560-5, 1957.
- HOWELER, R.H. & CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance for Al-toxicity in nutrient solutions as compared with a field screening method. *Agron. J.*, 68:551-5, 1976.
- LANCE, J.C. & PEARSON, R.W. Effect of low concentrations of aluminium on growth and water and nutrient uptake by cotton roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 33:95-8, 1969.
- LEGETT, J.E.; GALLOWAY, R.A. & GAUCH, H.G. Calcium activation of orthophosphate absorption by barley roots. *Plant Physiol.*, 40:897-902, 1965.
- LOPES, A.S. & COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under "Cerrado" vegetation in Brazil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:742-7, 1977.
- MCCORMICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminium phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:931-4, 1974.
- MACHADO, M.A. Cinética da absorção de fosfato em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala* na presença de alumínio. Viçosa, UFV, 1981. 51p. Tese Mestrado.
- MOSQUIN, P.R. Influência do alumínio sobre o crescimento e o metabolismo em plantas de *Stylosanthes humilis* H.B.R. Viçosa, UFV, 1978. Tese Mestrado.
- MUGWIRA, L.M.; ELGAWHARY, S.M. & PATEL, K.I. Differential tolerance of triticale, wheat, rye, and barley to aluminium in nutrient solution. *Agron. J.*, 68:782-7, 1976.
- MUZILLI, O.; SANTOS, D.; PALHANO, J.B.; MANETTI, F.J.; LANTMANN, A.F.; GARCIA, A. & CATA-NEO, A. Tolerância de cultivares de soja e de trigo à acidez do solo R. bras. *Ci. Solo*, 2:34-40, 1978.
- NASCIMENTO FILHO, V.P. & LOBÃO, A.O. Detecção de <sup>32</sup>P em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM. Piracicaba, CENA, 1977. (Boletim Científico, 48).
- OLIVEIRA, L.E.M. Crescimento e comportamento nutricional de cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) submetidos a níveis de alumínio. Viçosa, UFV, 1979. 39p. Tese Mestrado.
- OLMOS, I.L.J. & CAMARGO, M. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ci. e Cult.*, 28:171-80, 1976.
- RAINS, D.W.; SCHMID, W.E. & EPSTEIN, E. Absorption of cations by roots; effects of hydrogen ions and essential role of calcium. *Plant Physiol.*, 39:274-8, 1964.
- RANDALL, P.J. & VOSE, P.B. Effect of aluminium on uptake & translocation of phosphorus<sup>32</sup> by perennial ryegrass. *Plant Physiol.*, 38:403-9, 1963.
- RORISON, I.R. The effect of aluminium on the uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. *New Phytol.*, 64:23-7, 1965.
- RUIZ, H. Estimativa dos parâmetros cinéticos Km e Imax por uma aproximação gráfico-matemática. *R. Ceres*, 32:79-84, 1985.
- SILVA, J.B.C. Seleção de genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) tolerantes a toxidez de alumínio. Viçosa, UFV, 1983. 55p. Tese Mestrado.
- VALE, F.R. do. Efeito do alumínio sobre as cinéticas de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clones de eucalipto (*Eucalyptus alba*). Viçosa, UFV, 1982. Tese Mestrado.
- WRIGHT, K.E. & DONAHUE, B.A. Aluminium toxicity studies with radioactive phosphorus. *Plant Physiol.*, 28:674-80, 1953.