

EFEITO DO ALUMÍNIO SOBRE A ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE FÓSFORO E SOBRE A COMPOSIÇÃO MINERAL DE DUAS CULTIVARES DE TRIGO¹

VERA MARIA CARVALHO ALVES², ROBERTO FERREIRA DE NOVAIS³,
JÚLIO CÉSAR LIMA NEVES⁴ e NAIRAM FÉLIX DE BARROS⁵

RESUMO - Estudou-se o efeito do alumínio sobre a cinética de absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo, uma sensível (Anahuac) e outra tolerante (BH-1146) ao alumínio em solução nutritiva (pH 4,5). Foram utilizados os níveis de zero e 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio. O alumínio foi aplicado durante o período de crescimento das plantas, sendo retirado apenas durante os ensaios de cinética de absorção e de translocação de fósforo. O alumínio reduziu a Vmax das duas cultivares, sendo esta redução maior para a BH-1146 que para a Anahuac . Também reduziu ligeiramente o Km da BH-1146 , embora tenha aumentado o da Anahuac . A translocação de fósforo nas cultivares foi influenciada diferencialmente pelo alumínio, havendo redução na da Anahuac e aumento na da BH-1146 . Observou-se diferença entre as cultivares quanto aos teores de Ca, Zn e Mn na parte aérea, e de P, Mg e Fe, no sistema radicular, na presença de alumínio. De maneira geral, a cultivar BH-1146 apresentou maiores concentrações de cátions que a Anahuac , na presença ou não do alumínio na solução. A tolerância diferencial ao alumínio entre as duas cultivares parece estar relacionada com a absorção e translocação não apenas de fósforo, mas também de outros nutrientes.

Termos para indexação: cinética de absorção.

EFFECT OF ALUMINUM ON THE ABSORPTION AND TRANSLOCATION OF PHOSPHORUS AND ON THE MINERAL COMPOSITION OF TWO CULTIVARS OF WHEAT

ABSTRACT - The effect of Aluminum on the kinetic of absorption and translocation of phosphorus and mineral composition of Anahuac (sensitive) and BH-1146 (tolerant) wheat cultivars was measured. Aluminum at the levels of zero and 0.5 mg.l⁻¹ was used during the growth period except when the experiment on the kinetics of P-absorption and translocation was carried out. Aluminum reduced the Vmax of both cultivars although this effect was greater for the BH-1146 cultivar. It caused also some reduction on the Km of this cultivar and an increase for the Anahuac . Aluminum caused a reduction on the phosphorus translocation in the Anahuac and an increase in the BH-1146 . Aluminum also caused differences between the cultivars in Ca, Zn and Mn concentration in the shoots and in P, Mg and Fe in the root system. In general, the BH-1146 presented higher concentrations of cations than the Anahuac with or without Aluminum in solution. The differential tolerance of the cultivars to Aluminum seems to be related to the absorption and translocation, not only of phosphorus but also of other nutrients.

Index terms: kinetics of absorption.

INTRODUÇÃO

A ocorrência de toxidez de alumínio em plantas cultivadas é freqüente em muitos solos brasileiros

e, na maioria das vezes, está associada a solos lixiviados, pobres e de elevada acidez (Olmos & Camargo 1976). A calagem é a técnica normalmente adotada para contornar tal problema, mas a sua incorporação a horizontes subsuperficiais é bastante difícil. O crescimento do sistema radicular restrito ao horizonte superior do solo reduz a absorção de água e de nutrientes pelas plantas, com conseqüente decréscimo da produção e aumento da possibilidade de danos decorrentes de veranicos. Por isso, os melhoristas de plantas têm procurado selecionar e desenvolver cultivares tolerantes à toxidez desse elemento.

Em diversos trabalhos, a tolerância diferencial de algumas espécies e variedades ao alumínio tem

¹ Aceito para publicação em 11 de fevereiro de 1987.

Parte do trabalho de tese do primeiro autor, para obtenção do título de M.Sc. na Univ. Fed. de Viçosa.

² Eng. - Agr., M.Sc., EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo (CNPMS), Caixa Postal 151, CEP 35700 Sete Lagoas, MG.

³ Eng. - Agr., Ph.D., UFV/Dep. de Solos, CEP 36570 Viçosa, MG, Bolsista do CNPq.

⁴ Eng. - Agr., M.Sc., UFV/Dep. de Solos, Bolsista do CNPq.

⁵ Eng. - Florestal, Ph.D., UFV/Dep. de Solos, Bolsista do CNPq.

sido atribuída à maior ou menor capacidade da planta para absorver e/ou utilizar elementos minerais na presença desse elemento. Assim, a tolerância de cultivares de soja (Arminger et al. 1968), feijão (Foy et al. 1972), trigo e cevada (Foy et al. 1967, 1969, Long & Foy 1970) ao alumínio está relacionada com a maior capacidade dessas plantas para absorver e transportar o cálcio na presença do alumínio. Já a maior sensibilidade do sorgo, quando comparada com a do milho, foi associada à maior redução na absorção de potássio (Chamura & Hiroshi 1960, citados por Foy 1974). A maior tolerância de certas variedades de batata ao alumínio foi associada com a capacidade diferencial das raízes para absorver magnésio e potássio (Lee 1971).

Entretanto, os efeitos mais evidentes do alumínio têm sido verificados sobre a disponibilidade, absorção e utilização de fósforo.

Um dos efeitos primários do alumínio sobre a absorção de fósforo pelas plantas é a redução da disponibilidade deste elemento, que pode se dar na solução externa às raízes, por reações de precipitação e/ou adsorção (Hsu & Rennie 1962, MacLeod & Jackson 1967, White et al. 1976). Entretanto, essa reação de adsorção/precipitação pode também ocorrer nas raízes, mais precisamente no espaço livre aparente, sendo, portanto, independente de processos metabólicos (Rorison 1965, Clarkson 1966, 1967a). Esta hipótese foi confirmada por Rasmussen (1968), ao observar que o alumínio absorvido de soluções ácidas precipitava-se na parede das células da epiderme de raízes de milho, sem penetrar no córtex. Ele também observou que a distribuição do fósforo era exatamente a mesma do alumínio, sugerindo sua precipitação por este elemento. Contudo, há evidências de que as paredes das células corticais também atuam como sítios de fixação de alumínio e fósforo (Klimashevsky et al. 1972, Mc Cornick & Borden 1974, Kesar et al. 1975, Matsumoto et al. 1976).

Entretanto, apenas a precipitação do fósforo pelo alumínio, tanto externa como internamente, não pode explicar os distúrbios na utilização do fósforo verificados na presença de alumínio (Wallihan 1948).

Tem sido freqüentemente observado que o grau de tolerância das espécies e cultivares ao alumínio está também associado com a sua tole-

rância a baixos níveis de fósforo no meio de crescimento (Clarkson 1967b, Otsuka 1968a, b, Medappa & Dana 1970).

Para estudar a absorção diferencial de fósforo entre cultivares, comparações dos parâmetros cinéticos, Km, Vmax e Cmin, têm sido normalmente empregadas (Machado 1981). Trabalhos realizados por Noggle & Fried (1960) mostraram que diferenças na absorção de fósforo entre alfafa, cevada e painço foram decorrentes, principalmente, das variações nos valores de Vmax. De acordo com Andrew (1966), a maior taxa de absorção de fósforo em *Stylosanthes humilis*, em relação a outras leguminosas forrageiras, deve-se ao maior giro do carregador, o que tende a aumentar Vmax.

Machado (1981), estudando a cinética de absorção e os mecanismos da ação do alumínio sobre a absorção de fósforo em *Stylosanthes* sp, observou que, na ausência do alumínio, o *S. macrocephala*, considerado tolerante ao alumínio, apresentou maiores taxas de absorção de fósforo em todas as concentrações usadas, menor Km e maior Vmax na faixa de baixas concentrações de fósforo (até 30 μ M). Já o *S. guianensis*, sensível ao alumínio, apresentou menores taxas de absorção, maior valor de Km e menor de Vmax, possivelmente relacionados com a menor transferência do fósforo através da plasmalema. Nesse trabalho, também foi comprovado que um dos efeitos principais do alumínio sobre a absorção de fósforo, nas espécies testadas, parecia estar relacionado com a diminuição da capacidade do carregador para associar-se ao íon.

Indícios de que o alumínio também influencia, e de modo negativo, a translocação de fósforo para a parte aérea das plantas foram encontrados por diversos autores (Foy & Brown 1963, Randall & Vose 1963, MacLean & Chiasson 1966, Clarkson 1966, Lee 1971, Andrew et al. 1973, Andrew & Berg 1973).

Este trabalho teve por objetivo estudar o efeito do alumínio sobre a absorção e translocação de fósforo e sobre a composição mineral de duas cultivares de trigo, uma sensível (Anahuac) e outra tolerante (BH-1146) a esse elemento.

MATERIAL E MÉTODOS

Sementes de duas cultivares de trigo (*Triticum vulgare* L.), uma tolerante (BH-1146) e outra sensível (Anahuac) ao alumínio, foram tratadas com hipoclorito de sódio 1,0%, por 10 min., e, em seguida, lavadas abundantemente com água destilada. Foram, então, colocadas em câmara de germinação, a 25°C, em regime de semi-obscuridade.

Ao atingirem cerca de dois centímetros de altura, as plântulas foram selecionadas quanto à uniformidade e transferidas para caixas que continham 40 l da solução nutritiva de crescimento, pH 4,5, diluída à metade da concentração original e arejada continuamente. A solução utilizada foi proposta por Clark (1975) e modificada para conter 1,3 mM de Ca.

Decorridos quatro dias, as plantas foram novamente selecionadas e transferidas para caixas com 25 l de solução de crescimento na concentração normal (1 força). Para cada cultivar, foram usadas quatro caixas: duas com solução nutritiva com 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio, na forma de Al₂(SO₄)₃.18H₂O, e as outras duas com solução nutritiva sem alumínio. Em cada caixa, foram colocadas 25 plantas. O pH foi ajustado diariamente para 4,5 ± 0,1 pela adição de HCl ou NaOH 0,1 N, as soluções arejadas continuamente e trocadas semanalmente. As plantas permaneceram sob estas condições, em casa de vegetação, até 25 dias após a emergência. Nesta época, quarenta horas antes do início do estudo da cinética de absorção de fósforo, já em câmara de crescimento, um total de seis plantas de cada cultivar, na ausência de alumínio, foram transferidas para vasos com 1,5 l da solução de crescimento, em número de duas por recipiente. Outras seis plantas cultivadas na presença de alumínio foram colocadas em vasos com solução de crescimento, à qual se adicionou 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio na forma de Al₂(SO₄)₃.18H₂O. Em todos os tratamentos, o fósforo foi excluído da solução, visando aumentar a capacidade das raízes para absorver este elemento (Jungk 1975).

O pH das soluções foi mantido em 4,5 ± 0,1 durante o período de 40 horas de exclusão de fósforo.

Assim, a cinética de absorção de fósforo foi estudada mediante a combinação de dois níveis de alumínio e duas cultivares, em delineamento de casualização completa com três repetições.

Após 40 horas, as plantas foram colocadas, durante uma hora, em solução de composição idêntica à que seria utilizada no experimento de cinética de absorção, mas contendo fósforo não marcado na concentração de 20 µM. Procurou-se, com isto, obter as condições de estado estacionário da absorção de fósforo, requeridas para a aplicação do modelo cinético (Epstein & Hagen 1952, Hagen & Hopkins 1955).

As plantas foram, então, transferidas para a solução de absorção constituída de, apenas, 20 µM de P (KH₂PO₄) e 1,00 mM de Ca (CaCl₂.2H₂O), à qual se adicionaram 18,5 x 10⁴ Bq de ³²P, na forma de NaH₂³²PO₄ livre de carregador. Esta solução continha

fósforo e cálcio, para que não houvesse interferência de outros elementos na cinética de absorção de fósforo. Para assegurar a perfeita homogeneização, a solução foi agitada com bastão e arejada, durante dez minutos, antes da introdução das plantas. Cada conjunto vaso-planta foi pesado antes do início do período de absorção.

O experimento teve início quatro horas após o término do período escuro de oito horas, tendo sido realizado em câmara de crescimento, à temperatura de 25°C ± 1, umidade relativa de, aproximadamente, 45% e intensidade luminosa de 7.500 lux. O pH da solução foi ajustado, inicialmente, em 4,5 ± 0,1 e o arejamento mantido constante.

Procedeu-se, então, à retirada de alíquotas de 1 ml da solução de cada vaso, em intervalos de 30 minutos, até que a concentração de fósforo da solução atingisse um nível constante. As alíquotas foram levadas a um espectrômetro beta de cintilação líquida (Beckman LS 233) para contagem de ³²P, mediante o efeito Cerenkov (Nascimento Filho & Lobão 1977). As contagens foram efetuadas no canal de contagem do trítio, com janela totalmente aberta, ganho de 340 e erro de contagem de 20. Cada conjunto vaso-planta foi novamente pesado para cálculo da quantidade de água perdida por transpiração. As plantas foram então, divididas em parte aérea e sistema radicular. As raízes foram lavadas e secadas com papel absorvente e foi determinado o peso da matéria fresca do sistema radicular e da parte aérea. Os parâmetros V_{max} (velocidade máxima de absorção) e K_m (constante de Michaelis, inversamente associada à afinidade do carregador para com o íon) foram calculados conforme procedimento proposto por Classen & Barber (1974) e adaptado por Ruiç (1985).

Pela conjugação dos valores de V_{max} e K_m na fórmula de Michaelis-Menten $V = (V_{max} \cdot C) / (K_m + C)$, estimou-se a velocidade de absorção (V) de fósforo para diferentes concentrações (C) externas deste elemento.

Não se corrigiu a quantidade de água perdida por transpiração, para fins de cálculo das concentrações de fósforo nos diversos tempos de amostragem, pois essa foi considerada desprezível.

Após procedimento semelhante ao adotado para o estudo da cinética de absorção, diferindo apenas quanto ao número de plantas por vaso (quatro), e, na concentração de fósforo na solução de absorção, 30 µM, as plantas foram transferidas e mantidas nessa solução, também marcada com 18,5 x 10⁴ Bq de ³²P na forma de NaH₂³²PO₄ livre de carregador, por um período de duas horas (Vale 1982). Transcorrido esse tempo, foram seccionadas 1 cm acima do coleto e o exsudato do xilema recolhido, por 30 minutos, com o uso de pipetas de Pasteur. Determinou-se o peso do exsudato produzido por conjunto de vaso-planta, pesando-se os frascos de cintilação antes e depois da coleta. A contagem do ³²P foi realizada conforme a metodologia já descrita. Feita a coleta do exsudato, as raízes das plantas foram lavadas e secadas com papel absorvente, determinando-se, em seguida, o

peso do material fresco. Com os dados obtidos, calculou-se a translocação de fósforo em μM de P para cada tratamento, em ambas as cultivares.

Este experimento teve início quatro horas após o término do período escuro e foi conduzido em câmara de crescimento, em condições semelhantes às do primeiro experimento.

Para determinação da composição mineral das partes aéreas e raízes, plantas das duas cultivares, remanescentes das existentes nas oito caixas que continham os dois tratamentos com alumínio, foram coletadas e preparadas. Foram retiradas três plantas de cada uma das caixas existentes. As raízes foram lavadas com água destilada e as plantas separadas em sistema radicular e parte aérea. O material, após secado em estufa, a 70-80°C, por 72 horas, foi pesado e moído.

O sistema radicular e a parte aérea foram analisados individualmente, determinando-se os teores de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, zinco, ferro, cobre, manganês e alumínio. A determinação do nitrogênio foi feita pelo método Kejedahl. Nos extratos da mineralização nitroperclórica, o fósforo foi determinado colorimetricamente pelo método do ácido ascórbico (Braga & Defelipo 1974) e o potássio por fotometria de emissão de chama. O cálcio, magnésio, zinco, ferro, cobre e manganês foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A determinação de alumínio foi realizada de acordo com o método de aluminon (Chenery 1948), modificado por Braga.

O experimento foi constituído por um fatorial 2 x 2 (duas cultivares e dois níveis de alumínio), com duas repetições (três plantas por repetição) em delineamento inteiramente casualizado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Cinética de absorção de fósforo

As equações do método gráfico-matemático, relacionando concentração de fósforo e tempo, ajustadas para cada tratamento, mostraram que esse método ajustou-se adequadamente aos dados obtidos ($r^2 \geq 0,952$).

Na ausência de alumínio, as duas cultivares de trigo apresentaram Km e Vmax semelhantes; entretanto, quando as plantas cresceram em solução nutritiva que continha alumínio, observou-se redução da Vmax para ambas as cultivares (Tabela 1). Isto significa que o alumínio reduziu o giro e/ou a concentração efetiva do carregador nas raízes. A redução do valor de Vmax da Anahuac foi de 13,8%, enquanto a da BH-1146 foi de 26,2%. Por outro lado, o Km da Anahuac

foi aumentado pelo tratamento com alumínio, ao passo que o Km da BH-1146 sofreu uma pequena redução (Tabela 1). Pela variação de Km pode-se dizer que, na cultivar sensível, o tratamento com alumínio reduziu a afinidade do fósforo para com seu carregador, ao passo que, na resistente, provocou pequeno aumento. Assim, pode-se inferir que, em condições de baixos teores de fósforo e altos teores de alumínio, a BH-1146 leva certa vantagem sobre a Anahuac, por possuir um carregador que apresenta maior afinidade com o fósforo. Pela conjugação dos valores de Km e Vmax na fórmula de Michaelis-Menten, em concentrações mais baixas de fósforo (0,5 a 2,5 μM), a BH-1146, crescida na presença de alumínio, apresentaria maior velocidade de absorção que a Anahuac (Tabela 2). Entretanto, nas concentrações mais altas (5,0 a 20,0 μM), a Anahuac tenderia a apresentar maior velocidade que a BH-1146.

Observa-se, também, que o pré-tratamento com alumínio reduziu a velocidade de absorção de fósforo em ambas as cultivares (Tabela 1). Este resultado contrasta com dados obtidos por Brauner & Sarruge (1980), que observaram um aumento da Vmax de fósforo por cultivares de trigo causado pelo alumínio. Essa diferença poderia, em parte, ser explicada pelo fato de terem esses autores conduzido a cinética de absorção de fósforo com o alumínio presente na solução de absorção, enquanto, neste trabalho, o alumínio foi excluído da solução durante o estudo da cinética. Os resultados do trabalho de Cambraia & Calbo (1980) reforçam esta explicação, uma vez que o aumento da Vmax de fósforo em raízes destacadas de sorgo só ocorria quando o alumínio estava presente na solução durante o estudo da cinética, e diminuía quando o alumínio era excluído. Assim, o incremento por eles observado na Vmax teria sido causado por uma possível precipitação de fosfato de alumínio no sistema radicular. Clarkson (1967a) também observou estímulos semelhantes na absorção de fósforo por segmentos de raízes de cevada na presença de alumínio e demonstrou que, praticamente, toda a absorção estimulada pelo alumínio era de natureza não-metabólica, não diminuindo na presença de dinitrofenol ou quando submetida a baixas temperaturas.

TABELA 1. Valores de Vmax e Km da cinética de absorção de fósforo¹ de duas cultivares de trigo, uma sensível (Anahuac) e outra tolerante (BH-1146) ao alumínio. Média de três repetições.

Teor de alumínio na solução	Anahuac		BH-1146	
	Vmax ²	Km	Vmax ²	Km
mg.l ⁻¹	$\mu\text{moles P.g raiz}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$	μM	$\mu\text{moles P.g raiz}^{-1}$	μM
0	0,811	3,090	0,867	3,047
0,5	0,699	3,586	0,640	2,929

¹ Concentração inicial 20 μMP .

² Com base no peso de matéria fresca do sistema radicular.

TABELA 2. Velocidade de absorção (V) estimada de fósforo em diferentes concentrações externas deste elemento, para duas cultivares de trigo (Anahuac e BH-1146) e dois níveis de alumínio (zero e 0,5 mg.l⁻¹). Média de três repetições.

Cultivares	Al ¹	Concentração externa de fósforo					
		μM					
		0,5	1,0	2,5	5,0	10,0	20,0
	mg.l ⁻¹						
Anahuac	0,0	0,1156	0,1983	0,3682	0,5015	0,6199	0,7028
	0,5	0,0856	0,1525	0,2873	0,4073	0,5147	0,5930
BH-1146	0,0	0,1222	0,2142	0,3906	0,5386	0,6644	0,7522
	0,5	0,0933	0,1629	0,2947	0,4035	0,4949	0,5582

¹ Usado em pré-tratamento.

² $\mu\text{moles P.g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$.

Translocação de fósforo

Os valores da concentração de fósforo na seiva xilemática (Tabela 3) são compatíveis com observações de Russell & Barber (1960) de que o fósforo encontra-se na seiva xilemática numa concentração de 10^2 a 10^3 vezes maior que na solução de absorção. A BH-1146 apresentou menor concentração de fósforo no exsudato do xilema que a Anahuac, quando as plantas cresceram em solução sem alumínio (Tabela 3). Entretanto, quando as plantas foram pré-tratadas com alumínio, a cultivar sensível teve a concentração de fósforo no exsudato diminuída em 34%, ao passo que a resistente a teve aumentada em 15% (Tabela 3).

As plantas da cultivar BH-1146 apresentaram maior peso da matéria fresca do sistema radicular

(Tabela 4). Conseqüentemente, como as plantas de todos os tratamentos foram submetidas à exclusão de fósforo das soluções nas 40 horas prévias ao estudo de cinética, é razoável pensar que as plantas da BH-1146, por possuírem maior peso de matéria fresca de sistema radicular, tenham sofrido maior "fome" de fósforo que as da Anahuac. Talvez a diferença encontrada entre as cultivares, quanto à translocação de fósforo na ausência de alumínio, seja resultante de uma maior incorporação pela BH-1146 desse elemento nas frações de ácidos nucleicos, fosfolipídios e fosfoproteínas, do que nas frações ácidas. Esta explicação é apoiada pelo fato de que Bowen (1970), Cartwright (1972) e Jungk (1975) observaram maior taxa de absorção de fósforo por plantas deficientes em fósforo. Clarkson et al. (1978) observaram o mesmo, com relação à translocação.

Também, Bowen (1969) e Jahromi et al. (1976) observaram que plântulas de *Pinus*, deficientes em fósforo, apresentavam maior absorção de fósforo, com conseqüente maior incorporação nas raízes em frações de ácidos nucleicos, fosfolípidios e fosfoproteínas que nas frações solúveis em ácidos. Isso, logicamente, implicou em menor translocação de fósforo para a parte aérea.

A maior redução na concentração de fósforo do exsudato na cultivar Anahuac, quando comparada com BH-1146, pré-tratadas com alumínio, talvez esteja relacionada com a maior precipitação de fósforo pelo alumínio na cultivar sensível.

TABELA 3. Efeito do alumínio sobre a concentração de fósforo¹ no exsudato do xilema de duas cultivares de trigo, uma sensível (Anahuac) e outra tolerante (BH-1146) ao alumínio. Média de três repetições.

Al ²	Anahuac	BH-1146
mg.l ⁻¹	μM de P no exsudato	
0	1340	843
0,5	882	970

¹ Concentração inicial de P na solução de absorção: 30 μM.

² Usado em pré-tratamento.

TABELA 4. Peso da matéria fresca do sistema radicular das cultivares Anahuac e BH-1146, no experimento de translocação de fósforo (Médias de três repetições).

Cultivar	Al	Peso de matéria fresca do sistema radicular
	mg.l ⁻¹	g
Anahuac	0,0	24,05
	0,5	19,82
BH-1146	0,0	42,82
	0,5	36,02

Observou-se também que, na Anahuac, embora a concentração de fósforo na seiva xilemática tenha sido reduzida pelo pré-tratamento com alumínio, nesta situação ela ainda foi semelhante à da BH-1146, na ausência de alumínio. Deve-se

considerar, que a Anahuac é tida como a cultivar exigente em termos de fertilidade e que a BH-1146 é adaptada a solos pobres (Souza & Sobrinho 1983). Assim, é possível que a Anahuac, por ser talvez mais exigente inclusive em fósforo, não viesse a resistir à redução na translocação desse elemento, mesmo que permanecesse em níveis semelhantes aos da BH-1146.

Composição mineral das cultivares

A produção de matéria seca da parte aérea foi significativamente reduzida nas duas cultivares pela presença de 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio na solução de crescimento (Tabela 5). Entretanto, não houve alteração significativa do peso de matéria seca do sistema radicular das cultivares, em decorrência do tratamento com alumínio.

TABELA 5. Efeito do alumínio na produção de matéria seca da parte aérea e sistema radicular das cultivares Anahuac (sensível) e BH-1146 (resistente) (Médias de duas repetições).

Cultivar	Al	Produção de matéria seca	
		Parte aérea	Raiz
	mg.l ⁻¹	g	
Anahuac	0	3,56	0,96
	0,5	2,87	0,76
BH-1146	0	3,76	1,29
	0,5	3,28	1,02
F Cultivar		5,85NS	14,92*
F Al/Anahuac		15,52*	3,35NS
F Al/BH-1146		7,74*	5,91NS

NS - Não significativo.

* Significativo a 5% de probabilidade.

Também não foi encontrada diferença significativa entre as cultivares quanto à produção de matéria seca pela parte aérea. Entretanto, quanto ao sistema radicular, a BH-1146, que é considerada tolerante, apresentou maior peso de matéria seca que a Anahuac, tida como sensível. Talvez esta diferença seja um dos componentes da tolerância diferencial ao alumínio entre essas cultivares, uma vez que este maior desenvolvimento pode possibilitar maior absorção de água e de elementos minerais na presença de alumínio.

A composição mineral da parte aérea e do sistema radicular também foi influenciada pela presença de alumínio na solução nutritiva (Tabelas 6 e 7). Na parte aérea, o alumínio aumentou significativamente os teores de nitrogênio total em ambas as cultivares (Tabela 6). Resultados semelhantes têm sido encontrados por outros autores. Ota (1968), citado por Foy (1974), observou que o alumínio aumentou a concentração de nitrogênio total na parte aérea de plantas de arroz, e Mosquim (1978) encontrou que o alumínio aumentou os teores de aminoácidos livres totais e de proteínas no sistema radicular e na parte aérea de plantas de *Stylosanthes humilis* crescidas em solução com alumínio. Outros autores obtiveram resultados semelhantes para *S. macrocephala* (Gonçalves 1983, Cordeiro 1981) e para *Eucalyptus alba* (Vale 1982). De acordo com resultados encontrados por Gonçalves (1983) é possível que o alumínio aumente a absorção de nitrato no *S. macrocephala* mediante estímulo da atividade e/ou síntese da redutase do nitrato. O mesmo autor ponderou que, de forma análoga, é possível admitir que o alumínio estimule a absorção de amônio mediante um efeito modulador positivo que exerceria sobre a sintetase da L-glutamina das células radiculares do *S. macrocephala*. Já Bassioni (1973) observou que o alumínio, em baixas concentrações, exerce efeito estimulante no estágio inicial de absorção de N-NO_3^- , promovendo maior absorção total, em razão da redução do potencial negativo da raiz.

A percentagem de nitrogênio total do sistema radicular (Tabela 7) não foi influenciada pelo alumínio em ambas as cultivares; porém a cultivar tolerante apresentou maior teor de nitrogênio total do que a sensível.

A concentração de fósforo na parte aérea de ambas as cultivares não foi alterada significativamente pela presença de alumínio na solução de crescimento (Tabela 6). Entretanto, no sistema radicular, apenas a cultivar sensível apresentou aumento significativo no teor de fósforo no tratamento com alumínio (Tabela 7). Isto sugere que, na cultivar Anahuac, pode ter havido precipitação de fósforo pelo alumínio nos tecidos radiculares. Rorison (1965) e Clarkson (1966, 1967b) sugeriram que a interação de alumínio e fosfato dá-se

no espaço livre aparente das raízes por reações de adsorção-precipitação, sendo, portanto, independente de processos metabólicos. Esta hipótese tem sido confirmada por diversos pesquisadores (Rasmussen 1968, Klimashevski et al. 1972, Mc Cornick & Borden 1974, Kesar et al. 1975, Matsumoto et al. 1976).

Os teores de potássio e de cobre, tanto na parte aérea como no sistema radicular, em ambas as cultivares, não foram modificados pelo alumínio (Tabelas 6 e 7).

O teor de cálcio na parte aérea da cultivar sensível (Anahuac) foi severamente reduzido pela presença de $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ de alumínio na solução nutritiva (Tabela 6). Entretanto, para a cultivar tolerante (BH-1146) não houve efeito significativo do alumínio.

Alguns trabalhos têm demonstrado que a tolerância diferencial ao alumínio de cultivares de soja (Armingier et al. 1968), feijão (Foy et al. 1972), trigo e cevada (Foy et al. 1967, 1969, Long & Foy 1970) pode estar associada com a maior capacidade das plantas para absorver e transportar o cálcio para a parte aérea na presença de alumínio. Neste experimento, é possível que a diferença verificada quanto aos teores de cálcio da parte aérea e do sistema radicular seja um dos componentes de tolerância diferencial entre as duas cultivares, já que, na presença de alumínio, também a concentração de cálcio no sistema radicular (Tabela 7) foi reduzida na Anahuac e não foi significativamente alterada na BH-1146.

Os teores de magnésio na parte aérea sofreram redução pela presença de alumínio nas duas cultivares (Tabela 6). Embora a interação cultivar x alumínio não tenha sido significativa, houve redução de 33% na cultivar sensível contra apenas 13% na tolerante. Mais recentemente, alguns trabalhos têm enfatizado o papel da relação Al/Mg na problemática de toxidez de alumínio em plantas. Em experimento realizado por Clark (1977) com duas linhagens de milho, uma eficiente e outra menos eficiente quanto à absorção de magnésio, comprovou-se que as plantas da linhagem de menor eficiência foram mais sensíveis ao alumínio do que as da linhagem mais eficiente. Também foi ressaltado que, embora as deficiências de cálcio e de fósforo sejam comumente consideradas como

sintomas de toxidez de alumínio, esta pode estar estreitamente associada ao magnésio. No sistema radicular, o alumínio provocou redução significativa no teor de magnésio da cultivar BH-1146, não afetando, porém, o da Anahuac (Tabela 7).

O alumínio também reduziu significativamente a concentração de zinco na parte aérea da cultivar Anahuac, não alterando, porém, a da BH-1146 (Tabela 6). Já no sistema radicular, o alumínio reduziu os teores de zinco, em ambas as cultivares, indistintamente (Tabela 7).

O alumínio também não alterou os teores de ferro na parte aérea das cultivares (Tabela 6). Entretanto, reduziu significativamente os teores desse elemento no sistema radicular da Anahuac, apenas. Os efeitos relatados na literatura do alumínio sobre os teores de ferro são bastante variáveis. Dependendo da espécie, idade da planta, composição da solução nutritiva e de outros fatores, pode-se ter aumento, diminuição ou mesmo nenhum efeito do alumínio no teor de ferro, tanto da parte aérea como do sistema radicular (Brown & Jones 1977, Alam & Adams 1979, Mugwira 1980, Lemos Filho 1982). De acordo com os resultados obtidos por Alam & Adams (1979), os menores teores de ferro, nas plantas submetidas a níveis tóxicos de alumínio, resultam de uma inibição do processo de redução do íon férrico a ferroso na superfície radicular, condição essencial para a absorção deste íon. Essa hipótese foi confirmada por Lemos Filho (1982), que observou que a capacidade das raízes para reduzir o íon férrico é inibida pela presença de alumínio.

Os teores de manganês, tanto na parte aérea como no sistema radicular, foram influenciados distintamente pelo alumínio nas duas cultivares. Na parte aérea, a concentração de manganês da BH-1146 aumentou no tratamento com alumínio e na Anahuac reduziu-se (Tabela 6). Já no sistema radicular, o alumínio reduziu o teor de manganês na cultivar sensível e não afetou o da tolerante (Tabela 7). Alam & Adams (1979), Lee (1971) e Ota (1968), citado por Foy (1974), encontraram efeitos depressivos do alumínio sobre o conteúdo de manganês em aveia, batata e arroz, respectivamente. Tal fato conduziu à hipótese de que o alumínio compete com o manganês pelos mesmos sítios de absorção, o que resulta em menor absorção deste elemento. No presente trabalho, esse efeito depressivo do alumínio sobre o teor de manganês só foi observado na cultivar sensível.

De modo geral, observa-se que a BH-1146 apresentou maiores concentrações de cátions que a Anahuac, tanto no tratamento sem alumínio quanto no tratamento com 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio (Tabelas 6 e 7). Gargantini et al. (1973) também observaram grande diferença entre as quantidades de nutrientes absorvidos pelas cultivares de trigo BH-1146 e IAS-3795. A BH-1146, até aos vinte dias de idade, absorveu mais potássio, cálcio e magnésio que a IAS-3795.

Os teores de alumínio em ambas as cultivares, em um mesmo tratamento, apresentaram grande variabilidade, principalmente no sistema radicular, quando o alumínio estava presente na solução

TABELA 6. Teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu na parte aérea das cultivares Anahuac e BH-1146 cultivadas na ausência e presença de alumínio (Médias de duas repetições).

Cultivar	Al	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu
Anahuac	0	4,20	0,32	2,87	0,47	0,25	89	24	75	8
	0,5	4,49	0,37	2,98	0,30	0,14	63	29	56	8
BH-1146	0	4,42	0,30	3,56	0,60	0,29	98	30	127	11
	0,5	4,78	0,31	3,49	0,53	0,25	100	33	149	11
F Cultivar		8,70*	6,13NS	12,64*	98,53**	133,00**	46,77**	2,06NS	415,80**	62,17**
F Al/Anahuac		7,67*	5,00NS	0,20NS	43,84**	36,75**	30,35**	1,05NS	13,69*	0,28NS
F Al/BH-1146		8,55*	0,27NS	0,08NS	7,00NS	9,25*	0,40NS	0,61NS	19,07*	0,44NS

NS - Não significativo.

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 7. Teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Fe, Mn e Cu no sistema radicular das cultivares Anahuac e BH-1146 na ausência e presença de alumínio (Médias de duas repetições).

Cultivar	Al	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu
	mg.l ⁻¹	% na matéria seca				ppm na matéria seca				
Anahuac	0	3,29	0,28	2,29	0,20	0,07	115	119	172	16
	0,5	3,44	0,37	2,33	0,16	0,06	82	60	57	10
BH-1146	0	3,78	0,31	3,26	0,23	0,15	224	132	409	71
	0,5	3,66	0,33	3,02	0,20	0,12	197	110	420	69
F Cultivar		10,04*	0,59NS	195,41**	21,81**	546,8**	294,29**	7,30NS	638,42**	106,21**
F Al/Anahuac		0,92NS	71,50**	0,16NS	10,89*	4,2NS	12,39*	13,57*	47,18**	0,61NS
F Al/BH-1146		0,51NS	4,15NS	7,50NS	7,30NS	54,0**	8,87*	1,85NS	0,40NS	0,04NS

NS - Não significativo.

* Significativo a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

nutritiva. Apesar disso, pôde-se observar que as duas cultivares acumularam alumínio no sistema radicular, sem ter ocorrido maior translocação desse elemento para a parte aérea.

De acordo com Foy et al. (1978), não há diferença consistente quanto à concentração de alumínio na parte aérea de cultivares de trigo tolerantes ou sensíveis a esse elemento, mas o sistema radicular de plantas tolerantes muitas vezes contém menos alumínio que o de plantas sensíveis. Neste experimento, tal fato não pode ser observado, dada a grande variabilidade no teor de alumínio entre as plantas de uma mesma repetição.

Deve-se levar em consideração que os resultados deste trabalho foram obtidos com 0,5 mg.l⁻¹ de alumínio. É possível que os efeitos diferenciais do alumínio nas cultivares BH-1146 e Anahuac sejam mais acentuados, quando forem utilizados níveis mais altos desse elemento.

CONCLUSÕES

A absorção e translocação de fósforo, bem como os teores de Ca, Zn e Mn na parte aérea e de P, Mg e Fe no sistema radicular foram influenciados pelo Al, diferencialmente entre as cultivares de trigo BH-1146 e Anahuac. Assim, a tolerância diferencial das cultivares de trigo testadas ao Al está, provavelmente, associada não apenas ao P, mas também a outros nutrientes.

REFERÊNCIAS

ALAM, S.M. & ADAMS, W.A. Effects of aluminium on nutrient composition and yield of oats. *J. Plant Nutr.*, 1:365-75, 1979.

ANDRÉW, C.S. A kinetic study of phosphate absorption by excised roots of *Stylosanthes humilis*, *Phaseolus lathyroides*, *Desmodium uncinatum*, *Medicago sativa* and *Hordeum vulgare*. *Aust. J. Agric. Res.*, 17: 611-24, 1966.

ANDREW, C.S. & BERG, P.J. van den. The influence of aluminum on phosphate sorption by whole plants 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.H.; FOY, C.D.; CALDWELL, B.E. Differential tolerance of soybean varieties to an acid soil high in exchangeable aluminum. *Agron. J.*, 60:67-70, 1968.

BASSIONI, N.H. On the mechanism of nitrate uptake by plant roots. II. Effect of the valence of the associated cation. *Agrochimica*, 17:341-6, 1973.

BOWEN, G.D. Early detection of phosphorus deficiency in plants. *Soil Sci. Plant Anal.*, 1:293-8, 1970.

BOWEN, G.D. The uptake of orthophosphate and its incorporation into organic phosphates along roots of *Pinus radiata*. *Aust. J. Biol. Sci.*, 22:1125-35, 1969.

BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solos e plantas. *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 de fósforo. *Anais Esc. Sup. Agric. Luiz de Queiroz*, 37:895-912, 1980.

BROWN, J.C. & JONES, W.E. Fitting plants nutritionally to soils. III. Sorghum. *Agron. J.*, 69:410-4, 1977.

CAMBRAIA, J. & CALBO, A.G. Efeito do alumínio sobre a absorção e sobre o transporte de fósforo em duas

- cultivares de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *R. Ceres*, 27:615-25, 1980.
- CARTWRIGHT, B. The effect of phosphate deficiency on the kinetics of phosphate absorption by sterile excised barley roots and some factors affecting the ion uptake efficiency of roots. *Soil Sci. Plant Anal.*, 3:313-22, 1972.
- CHENERY, E.M. Thioglycolic acid as an inhibitor for iron in the colorimetric determination of aluminum by means of 'aluminon'. *Analyst*, London, 73: 501-2, 1948.
- CLAASSEN, N. & BARBER, S.A. A method of characterizing the relation between nutrient concentration and flux into roots of intact plants. *Plant Physiol.*, 54:564-8, 1974.
- CLARK, R.B. Characterization of phosphatase of intact maize roots. *J. Agric. Food Chem.*, 23:458-60, 1975.
- CLARK, R.B. Effects of aluminum on growth and mineral elements of Al-tolerant and Al-intolerant corn. *Plant Soil*, 47:653-62, 1977.
- CLARKSON, D.T. Effect of aluminum on the uptake and metabolism of phosphorus by barley seedlings. *Plant Physiol.*, 41:165-72, 1966.
- CLARKSON, D.T. Interaction between aluminium and phosphorus on root surfaces and cell wall material. *Plant Soil*, 27:347-56, 1967a.
- CLARKSON, D.T. Phosphorus supply and growth rate in species of *Agrostis* L. *J. Ecol.*, 55:111-8, 1967b.
- CLARKSON, D.T.; SANDERSON, J.; SCATTERGOOD, C.B. Influence of phosphate-stress on phosphate absorption and translocation by various parts of the root system of *Hordeum vulgare*, L. (Barley). *Planta*, 139:47-53, 1978.
- CORDEIRO, A.T. Efeito de níveis de nitrato, amônio e alumínio sobre o crescimento e sobre a absorção de fósforo e de nitrogênio em *Stylosanthes guianensis* e *Stylosanthes macrocephala*. Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1981. Tese Mestrado.
- EPSTEIN, E. & HAGEN, C.E. A kinetic study of the absorption of alkali cations by barley roots. *Plant Physiol.*, 27:457-74, 1952.
- FOY, C.D. Effects of aluminum on 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. & BROWN, J.C. Toxic factors in acid soils. I. Characterization of aluminum toxicity in cotton. *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:403-7, 1963.
- FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 29:511-66, 1978.
- 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.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; BURNS, G.R.; ARMINGER, W.H. Characterization of differential aluminum tolerance among varieties of wheat and barley. *Agron. J.*, 31:513-21, 1967.
- FOY, C.D.; FLEMING, A.L.; GERLOFF, G.C. Differential aluminum tolerance in two snapbean varieties. *Agron. J.*, 68:815-8, 1972.
- GARGANTINI, H.; BLANCO, H.G.; HAAG, H.P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pelo trigo. *Bragantia*, 32:285-307, 1973.
- GONÇALVES, M.C. *Influência do alumínio, nitrato e amônio na absorção e na assimilação do nitrogênio, em Stylosanthes guianensis e S. macrocephala*. Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1983. 38p. Tese Mestrado.
- HAGEN, C.E. & HOPKINS, H.T. Ionic species in orthophosphate absorption by barley roots. *Plant Physiol.*, 30:193-9, 1955.
- HSU, P.H. & RENNIE, D.A. Reaction of phosphate in aluminum systems. I. Adsorption of phosphate by X-ray amorphous "aluminum hydroxide". *Can. J. Soil Sci.*, 42:197-209, 1962.
- JAHROMI, S.T.; SMITH, W.H.; GODDARD, R.E. Genotype x fertilizer interactions in slash pine: variation in phosphate (^{33}P) incorporation. *For. Sci.*, 22: 21-30, 1976.
- JUNGK, A. Phosphate uptake characteristics of intact root systems in nutrient solution as affected by plants species age and P supply. In: COLLOG. PLANT ANAL. FERT. PROB., 7, *Proceedings*. Hannover, West Germany, 1975. p.185-96.
- KESAR, M.; NEUBAUER, B.F.; HUTCHINSON, F.E. Influence of aluminum ions on developmental morphology of sugar-beet roots. *Agron. J.*, 67: 84-8, 1975.
- KLIMASHEVSKY, E.L.; MARKOVA, Y.A.; BERNATZKAYA, M.L.; MALYSHEVA, A.S. Physiological responses to aluminum toxicity in root zone of pea varieties. *Agrochimica*, 16:487-496, 1972.
- LEE, C.R. Influence of aluminum on plant growth and mineral nutrition of potatoes. *Agron. J.*, 63:604-8, 1971.
- LEMOES FILHO, J.P. *Efeito do alumínio sobre os teores de alguns elementos minerais, sobre a fotossíntese e sobre a atividade de certas oxidasas em sorgo (Sorghum bicolor L. (Moench))*. Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1982. 46p. Tese Mestrado.
- LONG, F.L. & FOY, C.D. Plant varieties as indication of aluminum toxicity in the A₂ horizon of a Norfolk soil. *Agron. J.*, 62:679-81, 1970.
- MC CORNICK, L.H. & BORDEN, F.Y. The occurrence of aluminum phosphate precipitate in plant roots. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38:931-4, 1974.
- MAC LEAN, A.A. & CHIASSON, T.C. Differential performance of two barley varieties to varying aluminum concentrations. *Can. J. Soil Sci.*, 46: 147-54, 1966.
- Pesq. agropec. bras., Brasília, 23(6):563-573, junho 1988.

- MAC LEOD, L.B. & JACKSON, L.P. Aluminum tolerance of two barley varieties in nutrient solution, peat, and soil culture. *Agron. J.*, 59:359-63, 1967.
- MACHADO, A.M. Cinética da absorção de fosfato em *Stylosanthes guianensis* e *S. macrocephala* na presença do alumínio. Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1981. 51p. Tese Mestrado.
- MATSUMOTO, H.; HIRASAWA, E.; TORIKAI, H.; TAKAHASHI, E. Localization of absorbed aluminum in pea root and its binding to nucleic acids. *Plant Cell Physiol.*, 17:127-36, 1976.
- MEDAPPA, K.C. & DANA, M.N. Tolerance of cranberry plants to manganese, iron and aluminum. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 95:107-10, 1970.
- MOSQUIM, P.R. Influência do alumínio sobre o crescimento e o metabolismo em plantas de *Stylosanthes humilis* H.B.K. Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1978. 29p. Tese Mestrado.
- MUGWIRA, L.W. Growth and Ca, Mg, K and P uptake by triticale, wheat and rye at four Al levels. *J. Plant Nutr.*, 2:591-606, 1980.
- NASCIMENTO FILHO, V.F. & LOBÃO, A.O. Detecção de ^{32}P em amostras de origem animal e vegetal por efeito Cerenkov, cintilação líquida e detector GM. Piracicaba, SP. CENA, 1977. (Bol. Cient. 048)
- NOOGLE, J.C. & FRIED, M. A kinetic analysis of phosphorus absorption by excised roots of millet, barley, and alfalfa. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 24:33-5, 1960.
- OLMOS, J.I.L. & CAMARGO, M.C. Ocorrência de alumínio tóxico nos solos do Brasil, sua caracterização e distribuição. *Ci. e Cult.*, 28:171-80, 1976.
- OTSUKA, K. Aluminum and manganese toxicity in plants. II. Effects of aluminum on growth of barley, wheat, oats, and rye seedlings. *J. Sci. Soil Manure*, 39:469-74. 1968a.
- OTSUKA, K. Aluminum and manganese toxicities for plants. III. Effects of aluminum - ion concentration on growth and phosphorus uptake of grafted tomatoes. *J. Sci. Soil Manure*, 39:475-8, 1968b.
- RANDALL, P.J. & VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus ^{32}P by perennial ryegrass. *Plant Physiol.*, 38:403-13, 1963.
- RASMUSSEM, H.P. The mode of entry and distribution of aluminum in *Zea mays*: electron microprobe x-ray analysis. *Planta*, 81:28-7, 1968.
- RORISON, I.H. The effect of aluminum on the uptake and incorporation of phosphate by excised sainfoin roots. *New Phytol.*, 64:23-7, 1965.
- RUIZ, H.A. Estimativa dos parâmetros cinéticos K_m e V_{max} por uma aproximação gráfico-matemática. *R. Ceres*, 32:79-84, 1985.
- RUSSEL, R.S. & BARBER, D.A. The relationship between salt uptake and the absorption of water by intact plants. *Annu. Rev. Plant Physiol.*, 11:127-40. 1960.
- SOUZA, M.A. & SOBRINHO, J.S. Cultivares de trigo para Minas Gerais. *Inf. agropec.*, 9:20-6, 1983.
- VALE, F.R. Efeito do alumínio sobre a cinética de absorção de nitrato, amônio e fosfato em milho (*Zea mays*, L.) e em clone de eucalipto (*Eucalyptus alba*). Viçosa, UFV/Imprensa Universitária, 1982. 71p. Tese Mestrado.
- WALLIHAN, E.F. The influence of aluminum on the phosphorus nutrition of plants. *Am. J. Bot.*, 35:106-12, 1948.
- WHITE, R.E.; TIFFIN, L.O.; TAYLOR, A.W. The existence of polymeric complexes in dilute solutions of aluminum and orthophosphate. *Plant Soil*, 45:521-9, 1976.