

Crescimento de híbridos de milho em solução nutritiva com alumínio

Maize growth in nutrient solution with aluminum

Jeonice Werle Techio^{1*}, Pedro Alexandre Varella Escosteguy¹, Diego Berres², Silas Zanella²

Recebido em 23/08/2010; aprovado em 03/10/2012.

RESUMO

A utilização de híbridos tolerantes ao alumínio (Al) é um fator importante para produção de milho em solos ácidos. O objetivo do trabalho foi avaliar a reação de híbridos de milho em função de atividades excessivas de Al em solução, em condições de estufa plástica. Plantas dos híbridos Pioneer 30F53 (precoce) e 32R48 (superprecoce) foram crescidas em vasos com solução nutritiva, contendo as seguintes atividades de Al: 0,0; 5,81; 9,9; 15; 21 e 29 $\mu\text{mol L}^{-1}$, em pH 4,5. Estas atividades corresponderam às concentrações de 0, 0,50, 0,75, 1,00, 1,25 e 1,50 mmol L^{-1} de Al, respectivamente. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. Os tratamentos foram arranjados em esquema bifatorial, combinando o tipo de híbrido com a atividade de Al. Após três semanas de crescimento, avaliou-se o comprimento da raiz seminal, a massa seca do sistema radicular e da parte aérea, o número de raízes secundárias, o teor de Al nas plantas e sua atividade tóxica que suprime 10 % do valor dos atributos avaliados. A interação dos fatores estudados não influenciou as variáveis avaliadas. O acréscimo da atividade de até 29 $\mu\text{mol L}^{-1}$ Al em solução reduziu, de forma linear, o comprimento da raiz seminal e a massa seca do sistema radicular e da parte aérea. O híbrido 32R48 foi mais tolerante ao Al.

PALAVRAS-CHAVE: *Zea mays*, toxicidade, raiz, acidez.

SUMMARY

The use of aluminum (Al) tolerant hybrids is an important factor to corn production on acid soils. The objective was to assess the reaction of maize hybrids according to excessive activities of Al in solution under a plastic greenhouse. Plants of Pioneer 30F53 (early) and Pioneer 32R48 (super early) hybrids were grown in pots with nutrient solution containing 0.0, 5.81, 9.9, 15.0, 21.0 and 29.0 $\mu\text{mol L}^{-1}$ of Al activities, at pH 4.5. These activities corresponded to the following Al concentrations: 0.0, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50 mmol L^{-1} , respectively. A randomized block design was used with four replications. Treatments were arranged in a bifactorial model, where hybrids were combined with the Al activity. After three weeks of growth, the study assessed the root length, the dry weight of root system and shoot, the number of secondary roots, the content of Al in the plant and its toxic activity that suppresses 10% of the value of the attributes assessed. The interaction of the factors studied did not influence the variables assessed. The increase of Al activities in solution up to 29 $\mu\text{mol L}^{-1}$ reduced the seminal root length and the dry weight of the roots and shoot in a linear way. The Hybrid 32R48 was more tolerant to Al.

KEY WORDS: *Zea mays*, toxicity, root, acidity.

¹ Programa de Pós-graduação em Agronomia. Universidade de Passo Fundo – UPF. BR 285, Bairro: São José, CEP 99052-900, Passo Fundo, RS, Brasil. Email: jeonice.techio@sertao.ifrs.edu.br. * Autora para correspondência.

² Curso de Agronomia - UPF.

INTRODUÇÃO

O Al é o terceiro elemento mais abundante, em massa, na crosta terrestre (MALAVOLTA, 2006). A toxicidade deste cátion é o principal fator limitante à produção agrícola, em muitos solos ácidos, típicos de regiões tropicais e subtropicais (CHAFFAI et al., 2005). Nestes solos, o valor do pH, é geralmente menor que 5,0 (PIÑEROS et al., 2005), o que aumenta a atividade das formas tóxicas de Al em solução (ÁLVAREZ et al., 2005).

Embora a forma trocável de Al no solo seja determinada para avaliar o nível de toxicidade desse cátion no solo (MALAVOLTA, 2006), a espécie de Al predominante na solução do solo, ou em soluções hidropônicas, também é considerada importante para esta avaliação (ZAMBROSI et al., 2007). Com base na especiação, estes autores constataram que a espécie de Al que predomina em solução, com pH menor que 5,0, é o Al^{3+} , a qual é considerada a forma mais tóxica para as plantas (NOLLA e ANGHINONI, 2006).

Os efeitos típicos da fitotoxicidade de Al no sistema radicular são verificados após poucas horas ou dias de exposição a teores excessivos deste íon (TAHARA et al., 2008). Na raiz, a ação tóxica deste cátion localiza-se no ápice, nas paredes celulares da epiderme (PEIXOTO et al., 2007), na coifa e na mucilagem radicular (GUIMARÃES et al., 2006). Desta forma, a parte mais sensível da raiz ao Al é a região meristemática, sendo esta o primeiro local onde este cátion induz injúrias na planta (CHAFFAI et al., 2005), devido à redução da divisão celular (MALAVOLTA, 2006). Isto resulta, conseqüentemente, na diminuição do alongamento celular, deixando as raízes mais grossas, curtas, de coloração castanha, quebradiça (MALAVOLTA, 2006).

Em soluções com excesso de Al, a redução da parte aérea da planta ocorre após a inibição do sistema radicular e é consequência dos danos que este íon causa na raiz (CANTÃO, 2007). Neste sentido, um dos atributos vegetais mais utilizados para avaliar a tolerância ao Al tem sido o crescimento da raiz seminal (PATERNIANI e FURLANI, 2002). A inibição do crescimento das

plantas pelo excesso de Al prejudica a absorção de água e de nutrientes, reduzindo o rendimento e a qualidade das culturas agrícolas (MALAVOLTA, 2006).

A toxicidade do Al e os demais problemas causados pela acidez do solo são corrigidos com a calagem (CONCEIÇÃO, 2006). Em locais distantes das áreas de mineração de calcário, esta prática pode ser inviável, principalmente, devido aos elevados custos de transporte. Além disso, em solos manejados com plantio direto, a correção da acidez de camadas mais profundas que 10 cm não tem sido efetuada, limitando-se, a aplicação deste produto na fase de implantação deste sistema. Posteriormente a esta fase, o calcário tem sido aplicado na linha de semeadura ou na superfície do solo, não corrigindo a acidez das camadas de solos mais profundas (PETRERE et al., 2007). Neste tipo de manejo de solo, o uso de plantas adaptadas a acidez é importante. Na cultura de milho, híbridos adaptados a níveis tóxicos de Al podem ter elevada importância, principalmente, em regiões onde solos ácidos são utilizados em cultivos agrícolas, sendo esta característica dos híbridos enfatizada pela pesquisa nos últimos anos (CANTÃO, 2007). Embora níveis críticos de Al no solo tenham sido determinados para muitas espécies vegetais, incluindo a cultura de milho, estudos que relacionem estes níveis com a atividade deste cátion, em solução contendo os nutrientes essenciais tipicamente presentes no solo, ainda são escassos.

O trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da atividade do Al no crescimento e na absorção desse elemento por dois híbridos de milho (*Zea mays* L.), crescidos em solução nutritiva.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em estufa plástica no município de Passo Fundo, RS, de setembro a outubro de 2008. A temperatura do ar variou de 13 a 33°C. Os tratamentos consistiram em seis concentrações de Al (0,00; 0,50; 0,75; 1,00; 1,25 e 1,50 mmol L⁻¹) e em dois híbridos de milho (*Zea mays* L.), da empresa Pioneer (30F53, ciclo precoce; e 32R48; ciclo superprecoce),

combinados em esquema bifatorial. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições, sendo cada vaso uma unidade experimental.

O Al foi adicionado na forma de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (Marca Merck, P.A.). As unidades experimentais foram vasos de polietileno de 7 L, contendo a solução nutritiva proposta por Hoagland e Arnon (1938) com os tratamentos testados e as plântulas de milho. Essa solução foi preparada com reagentes PA, água deionizada e continha: $5,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $5,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de KNO_3 ; $2,0 \text{ mmol L}^{-1}$ de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $1,25 \text{ mmol L}^{-1}$ de KH_2PO_4 ; $0,32 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{CUSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $46,26 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de H_3BO_3 ; $0,30 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $9,34 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $1,15 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e $50,0 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$ de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Esse último sal foi adicionado diariamente, substituindo o EDTA, utilizado na solução de Hoagland e Arnon (1938). Com esta substituição, evitou-se a complexação do Al pelo EDTA, o que diminuiria o efeito tóxico avaliado no trabalho. A concentração de fósforo que não inibiu a toxicidade do Al usada na solução foi selecionada a partir do MInteq. O pH da solução foi mantido em $4,5 \pm 0,05$, com adição diária de HCl $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$ ou KOH $0,1 \text{ mmol L}^{-1}$. A concentração de sais da solução nutritiva e de Al foi ajustada para 50, 75 e 100%, na primeira, segunda e terceira semana, após o transplante, respectivamente. Para tanto, a solução foi diluída com água deionizada. A menor concentração de sais no início do cultivo foi necessária para adaptar as plântulas de milho a elevada a força iônica da solução nutritiva (condutividade elétrica de $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$).

A especificação química foi efetuada com o auxílio do programa computacional Visual MInteq versão 2.53, estimando-se as seguintes atividades de Al^{3+} dos tratamentos testados: 0,0; 5,8; 9,9; 15,0; 21,0 e $29,0 \text{ } \mu\text{mol L}^{-1}$, na terceira semana após o transplante. A especificação da solução indicou que estas atividades foram 50 e 75% menores, na primeira e segunda semana, respectivamente.

Ao apresentarem 3,0 cm de comprimento de raiz, as plântulas foram transplantadas para os

vasos na densidade de 13 plantas por vaso. Os vasos foram conectados, através de mangueiras de látex, ao sistema de aeração, impulsionado por um compressor.

Após três semanas de crescimento na solução nutritiva, as plantas foram avaliadas, sendo a parte aérea separada das raízes, antes da pesagem destas partes. Para obter a massa seca, as amostras de plantas foram secadas a 65°C por 72 horas. Foi avaliado o comprimento da raiz seminal (CRS), o número de raízes secundárias (NRS), a proporção entre massa seca da raiz e a da parte aérea e a atividade crítica de Al a 10%. Para avaliar o CRS foi subtraído do comprimento obtido ao término do cultivo o comprimento inicial obtido logo após o transplante. A atividade crítica da toxicidade de Al em solução foi estimada com equações de regressão, obtidas em função do acréscimo da atividade desse íon em solução. Para tanto, foi considerado o valor da atividade desse íon que reduz em 10% o valor das variáveis avaliadas.

As amostras secas foram moídas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira com abertura de malha de 2 mm. A digestão das amostras tamisadas foram efetuadas com os ácidos nítrico e perclórico, para obter os extratos e determinar por espectrofotometria de absorção atômica de chama (TEDESCO et al., 1995) o teor de Al do tecido vegetal. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, que foi efetuada com o software Sisvar. O efeito das atividades de Al foi avaliado com análise de regressão, enquanto que o efeito do tipo de híbrido foi avaliado com o teste F, a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O aumento da atividade de Al na solução nutritiva reduziu as massas secas do sistema radicular (MSSR) e da parte aérea (MSPA), que decresceram, linearmente, com o aumento da atividade de Al em solução (Figura 1a e 1b). Por outro lado, a proporção entre a massa seca da raiz e a da parte aérea cresceu, de forma linear, com o aumento da atividade deste íon (Figura 1c).

A maior atividade testada de Al ($29 \text{ } \mu\text{mol}$

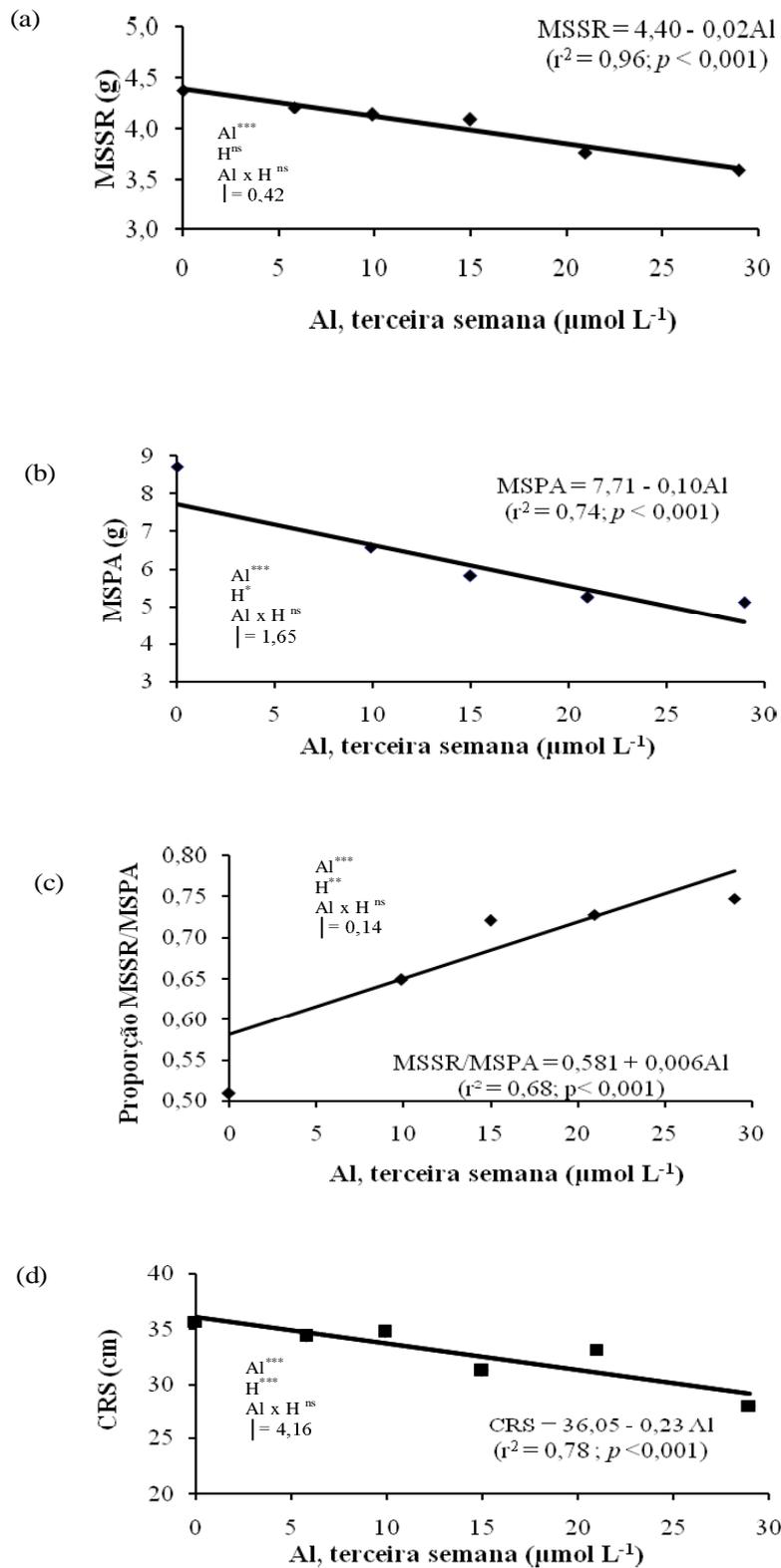


Figura 1 - (a) Teores das massas secas do sistema radicular (MSSR), (b) da parte aérea (MSPA), (c) proporção entre a massa seca do sistema radicular e a massa seca da parte aérea (MSSR/MSPA) e (d) comprimento de raiz seminal (CRS) de milho crescido em solução nutritiva, com diferentes atividades de alumínio (Al). Média dos híbridos 30F53 e 32R48 (Passo Fundo-RS, 2009). H = híbrido, H x Al = interação (ns: não significativo, *: $p \leq 0,05$, **: $p \leq 0,01$ e ***: $p \leq 0,001$). Barra vertical representa a diferença mínima significativa do teste de Tukey ($p < 0,05$).

L⁻¹) reduziu em 17,8 e 40,5% a MSSR e a MSPA, respectivamente, com consequente aumento da proporção raiz/parte aérea, que variou de 0,51, no tratamento sem Al, para 0,74, no tratamento com maior atividade desse íon (Figura 1c). Isto indica que o Al reduziu mais a produção de MSPA do que a MSSR. Esse efeito pode ser explicado pela produção da parte aérea ser consequência da produção de raiz. Como esta última parte da planta é a primeira a ser danificada pelo Al (MALAVOLTA, 2006), isto restringe mais o crescimento da parte aérea, pois esta depende do sistema radicular.

Na média dos dois híbridos, a atividade crítica do Al em solução que correspondeu à toxicidade de 10% (AC₁₀) diferiu entre a MSPA e a MSSR, sendo de 7,7 e de 22,0 µmol Al L⁻¹, respectivamente. Estes resultados indicam que a AC₁₀ obtida para a MSPA foi cerca de três vezes menor do que a obtida para a MSSR (Tabela 1), o que está de acordo com o aumento da proporção raiz/parte aérea, obtida em função do acréscimo da atividade de Al em solução (Figura 1c).

O valor da MSSR não diferiu entre os dois híbridos estudados, mas a MSPA foi maior no híbrido 32R48. Essas diferenças estão relacionadas com o menor número de dias do ciclo de crescimento deste híbrido. Como o 32R48 é um híbrido superprecoce e o 30F53 é precoce, esse último tem menor taxa de crescimento e maior número de dias em seu ciclo de desenvolvimento. Desta forma, quando da colheita do experimento, o híbrido 32R48 estava com quatro folhas totalmente expandidas, enquanto que esse grau de expansão das folhas não foi observado no 30F53, embora este apresentava quatro folhas, explicando o maior teor de MSPA observado no 32R48.

A AC₁₀ obtida para a MSPA dos híbridos 30F53 e 32R48 foi de 5,8 e de 9,4 µmol Al L⁻¹, respectivamente. A AC₁₀ obtida com o híbrido 32R48 foi cerca de duas vezes maior que a obtida com o 30F53, indicando menor tolerância deste último ao Al (Tabela 1). Já a AC₁₀ obtida com os resultados da MSSR foi semelhante entre os híbridos, mas maior que a obtida com a MSPA, reafirmando, assim, o maior efeito da

toxicidade do Al na parte aérea da planta. Este maior efeito na MSPA pode estar relacionado com a menor atividade de Al, utilizada nas duas primeiras semanas do experimento, o que deve ter favorecido a produção das raízes, resultando em maior relação MSSR/MSPA.

A interação entre a atividade de Al em solução e o tipo de híbrido não afetou o CRS e o NRS. Exceto o NRS houve efeito isolado do Al no CRS, que diminuiu de forma linear, com o aumento das atividades desse íon em solução (Figura 1d). Esse efeito também foi observado por outros autores (MAZZOCATO et al., 2002; PETRERE et al., 2007). A maior atividade testada de Al (29 µmol L⁻¹) reduziu o valor estimado do CRS em cerca de 20%, em relação ao tratamento testemunha. Este percentual de redução foi menor que o relatado por Ma et al. (1997) e Petrere et al. (2007), que observaram decréscimos de 42 a 67% do CRS, mas utilizando solução contendo somente Ca e Al. Este tipo de solução possivelmente acentua a atividade química tóxica do Al, conforme relata Mazzocato et al. (2002), em relação a soluções nutritivas completa, devido à interferência dos íons entre si. Por outro lado, pode-se questionar se o comportamento de plântulas cultivadas em solução simples pode expressar também o comportamento das plantas no campo. A AC₁₀ relacionada a essa variável foi de 15,7 µmol Al L⁻¹.

Os resultados ilustrados na Figura 1d mostram que as menores atividades testadas de Al (5,8 e 9,9 µmol L⁻¹) causaram menor decréscimo do CRS, em relação as maiores atividades. Isso pode estar relacionado à tolerância das plantas de milho à baixa atividade do Al, pois esse íon pode estimular (SZYMANSKA e MOLAS, 1996) e até ser benéfico (HOWERLER e CADAVID, 1976) para o crescimento normal das plantas, quando em baixas concentrações.

O NRS não foi afetado pelas atividades de Al testadas (p = 0,73), embora o aumento da atividade desse cátion tenha reduzido a MSSR e o CRS (Figura 1a e 1d), comprometendo o crescimento da parte aérea das plantas (Figura 1c). Possivelmente o NRS não foi influenciado pela atividade de Al, pois o crescimento das

raízes secundárias deve ter sido favorecido pelas menores concentrações de sais e de Al da solução nutritiva, utilizadas nas duas primeiras semanas de crescimento das plantas. Segundo Marschner (2002) sob certas condições e para espécies de plantas com alta tolerância ao alumínio, baixos níveis deste metal podem causar efeitos benéficos ao crescimento de plantas superiores. Entretanto, estes efeitos são considerados como exceção, onde a regra é o efeito negativo do Al no crescimento de plantas em solos de baixo pH.

Na média das atividades testadas de Al, os maiores valores de CRS (35,17 cm) e de NRS (11,85) foram observados com o híbrido 30F53. Estes maiores valores de CRS e de NRS estão coerentes com os maiores valores de MSSR, observados nesse híbrido. Além da variabilidade genética em relação à tolerância a este cátion (MA et al., 1997), estas diferenças podem ser explicados pelas características agrônômicas

dos híbridos, como o vigor e o número de dias do crescimento de ciclo, como indica o maior crescimento do 30F53 observado no tratamento sem Al. Por outro lado, a AC_{10} obtida nos híbridos 30F53 e 32R48 foi de 11,8 e 20,8 $\mu\text{mol Al L}^{-1}$, respectivamente. Estes resultados mostram que a AC_{10} obtida com o híbrido 32R48 foi cerca de duas vezes maior, em relação ao 30F53, indicando menor tolerância deste último à atividade do Al em solução (Tabela 1).

Os resultados da análise de tecido vegetal mostraram que o Al não foi detectado na parte aérea e que, nas raízes, o teor desse cátion variou somente em função do acréscimo da atividade de Al em solução. No tratamento com a maior atividade testada deste íon (29 $\mu\text{mol L}^{-1}$), o teor de Al nas raízes atingiu o máximo de 0,22 mg kg^{-1} (média dos híbridos), aumentando em aproximadamente 22 vezes em relação ao tratamento testemunha (Figura 2).

Tabela 1 - Atividade crítica de toxicidade de alumínio (Al) estimada para inibir em 10% o crescimento dos híbridos de milho 30F53 e 32R48 crescidos em solução nutritiva com diferentes atividades de Al. Média das atividades testadas (Passo Fundo, RS, 2009).

Variável	Híbrido		Média
	30F53	32R48	
 $\mu\text{mol L}^{-1}$		
MSSR ¹	14,2	14,8 ^{ns}	22,0
MSPA ²	5,8	9,4 [*]	7,7
CRS ³	11,8	20,8 [*]	15,7

¹: Massa seca do sistema radicular. ²: massa seca da parte aérea. ³: comprimento de raiz seminal.
^{ns}, ^{*}: não significativo e significativo, respectivamente, pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

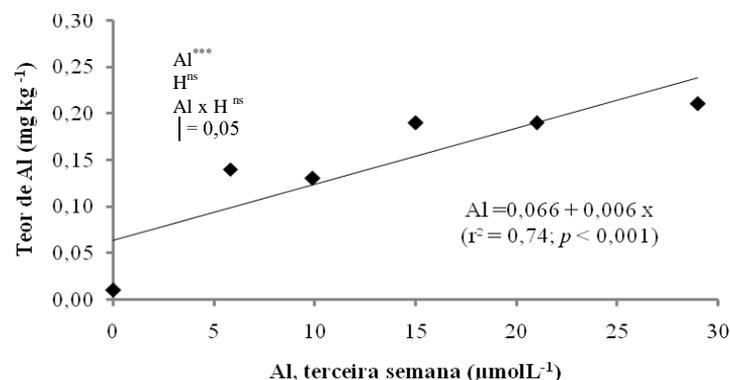


Figura 2 - Teor de alumínio (Al) no sistema radicular de milho crescido em solução nutritiva com diferentes atividades de Al. Média dos híbridos 30F53 e 32R48 (Passo Fundo, RS, 2009). H = híbrido, H x Al = interação (^{ns}: não significativo, ^{**}: $p \leq 0,01$ e ^{***}: $p \leq 0,001$). A barra vertical representa a DMS (atividade) do teste de Tukey ($p < 0,05$).

Na média das atividades de Al testadas, o teor desse elemento no tecido do sistema radicular não diferiu entre os híbridos avaliados. Isso está relacionado, em parte, ao maior crescimento das raízes do híbrido 30F53, observado inclusive no tratamento testemunha, o que diluiu o teor de Al na massa seca desta parte da planta. Por outro lado, os híbridos diferiram em relação ao CRS e a MSPA (Tabela 1).

CONCLUSÕES

O acréscimo da atividade de Al em solução reduziu o crescimento da raiz e da parte aérea das plantas de milho, principalmente, a partir da atividade de $12 \mu\text{mol Al L}^{-1}$, e aumentou o teor deste elemento nas raízes, que não foi transferido para a parte aérea.

O híbrido 32R48 foi mais tolerante ao excesso de Al em solução, mas o teor deste cátion na raiz não diferiu entre os híbridos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, E. et al. Application of aluminum toxicity indices to soils under various forest species. **Forest Ecology and Management**, Joensuu, v.211, p.227-239, 2005.
- CANTÃO, F.R.O. **Marcadores morfológicos de raiz em genótipos de milho contrastantes para tolerância à seca em resposta a estresses de fósforo e alumínio**. 2007, 98f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2007.
- CHAFFAI, R. et al. Aluminum mediates compositional alterations of polar lipid classes in maize seedlings. **Phytochemistry**, Pergamon, v.66, p.1903-1912, 2005.
- CONCEIÇÃO, L.D.H.C.S. **Herança da tolerância à toxicidade ao alumínio (Al^{3+}) em milho e identificação de regiões cromossômicas associadas ao caráter**. 2006, 98f. Tese (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2006.
- GUIMARÃES, C.M. et al. Resistência do arroz de terras altas ao alumínio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.10, p.855-860, 2006.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water culture method for growing plants without soil**. Berkeley: University of California Agricultural Experiment Station. 1938. 34p. (Circular, 347).
- HOWERLER, R.H.; CADAVID, L.F. Screening of rice cultivars for tolerance to Al toxicity in nutrient solutions and compared with a Field screening method. **Agronomy Journal**, Madison, v.68, p.551-555, 1976.
- MA, J.F. et al. Al-induced inhibition of root elongation in corn, *Zea mays* L. is overcome by Si addition. **Plant in Soil**, Dordrecht, v.188, p.171-176, 1997.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, 638p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3 Ed., London: Academic Press, 2002, 890p.
- MAZZOCATO, A.C. et al. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, p.19-24, 2002.
- NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Atividade e especiação química na solução afetadas pela adição de fósforo em Latossolo sob plantio direto em diferentes condições de acidez. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p.955-963, 2006.
- PATERNIANI, M.E.G.Z.; FURLANI, P.R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Bragantia**, Campinas, v.61, p.11-16, 2002.
- PEIXOTO, P.H.P. et al. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v.66, p.17-25, 2007.
- PETRERE, V.G. et al. Estudos de toxidez de alumínio em genótipos de soja e milho cultivados em bioensaios. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 31. Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira, Gramado, RS. **Anais...**, SBCS: Viçosa, p. 89- 94, 2007.
- PIÑEROS, M.A. et al. Aluminum resistance in maize can not be solely explained by root organic

acid exudation. A comparative physiological study. **Plant Physiology**, Palo Alto, v.137, p.231-241, 2005.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. The effect of aluminum on early development stages of *Cucumis sativus* L. *Folia Horticulturae*, Poznań, v.8, p.73-83, 1996.

TAHARA, K. et al. Role of aluminum-binding ligands in aluminum resistance of *Eucalyptus camaldulensis* and *Melaleuca cajuputi*. **Plant and Soil**, Netherlands, v.302, p.175-187, 2008.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, nº 5).

ZAMBROSI, F.C.B. et al. Aplicação de gesso agrícola e especiação iônica da solução de um Latossolo sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, p.110-117, 2007.