

# DESENVOLVIMENTO RADICULAR DE PLÂNTULAS DE SOJA, TRIGO E MILHO, EM SOLUÇÃO, AFETADAS POR NÍVEIS DE ALUMÍNIO

SOYBEAN, WHEAT AND MAYZE GROWING ROOT, IN SOLUTION, AFFECTED BY ALUMINUM LEVELS

Antonio Nolla

Jairo André Schindwein

Departamento de Solos da Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul

## RESUMO

A maioria dos solos agricultáveis no Brasil, em geral, são muito intemperizados, ácidos e com altos teores de alumínio, que é responsável pelo menor crescimento e pelo engrossamento das raízes. Algumas espécies de plantas podem apresentar aumento da produção de exsudatos radiculares (compostos orgânicos) que formam complexos com o alumínio, evitando a absorção e a toxidez. No intuito de avaliar o crescimento radicular e a produção de compostos orgânicos, cultivaram-se (câmara de crescimento), por 5 dias, plântulas de soja, trigo e milho em tubos de ensaio aerados (200 ml), contendo 200 mL de H<sub>2</sub>O + 0,02 mmol de CaCl<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e mais doses de alumínio (0; 0,075; 0,15 e 0,30 mmol de Al L<sup>-1</sup>). O pH da solução foi mantido entre 4,3-4,5, no qual o alumínio permaneceu na forma mais tóxica. Os resultados mostraram que o crescimento radicular da soja foi afetado apenas nos tratamentos em que foram adicionadas as maiores dosagens de alumínio em solução (0,150 e 0,300 mmol L<sup>-1</sup>). As raízes de trigo foram pouco afetadas pela adição de alumínio em solução. O milho, por sua vez, apresentou o maior crescimento de raízes no tratamento testemunha, porém apresentou a maior sensibilidade quanto à presença de alumínio em solução.

PALAVRAS-CHAVE: culturas comerciais, toxidez de alumínio, complexação de alumínio, carbono orgânico solúvel, pH

## INTRODUÇÃO

A maioria dos solos agricultáveis no Brasil em geral são muito intemperizados, ácidos e deficientes em nutrientes para as plantas, sendo a lixiviação de sais o principal processo pedogenético responsável pela acidificação. Nesses solos, o pH mais baixo favorece à atividade de algumas espécies de alumínio, notadamente o [Al(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub>]<sup>3+</sup>, conhecido simplesmente por Al<sup>3+</sup>, que pode ser tóxico para as raízes das plantas. Convém ressaltar que a toxicidade do alumínio é considerado um importante fator limitante no crescimento das culturas, em solos nos quais o pH da solução do solo está abaixo de 5,5 (LEE; FOY, 1986).

Os principais mecanismos de ação da toxidez do alumínio caracterizam-se pela diminuição da divisão e expansão celular, interação com proteínas que influem na atividade enzimática de vários processos metabólicos, interação na formação do esqueleto das células, alterações de sinais bioquímicos nos processos filológicos, alteração na parede celular impedindo a expansão, desorganização da membrana plasmática e inibição da absorção de íons (KOCHIAN, 1995). Alguns destes efeitos são popularmente conhecidos e visualizados pelo menor crescimento e engrossamento do sistema radicular (CLARK, 1977; DELHAIZE; RYAN, 1995; KOCHIAN, 1995).

O excesso de alumínio em solução causa estresse nas plantas (sinal hormonal, responsável pela adaptação ou aclimação em condições desfavoráveis), que reagem aumentando a produção de exsudatos (ácidos orgânicos, açúcares, aminoácidos, fenólicos), objetivando a complexação de parte do alumínio em solução, evitando dessa forma a sua absorção pelas raízes e a translocação para as demais partes da planta (JONES, 1998). A complexação de parte do alumínio em solução por ácidos orgânicos, depende exclusivamente do tipo e quantidade de grupos funcionais (OH e/ou COOH) na cadeia carboxílica (HUE; CRADDOCK; ADAMS, 1986; MIYAZAWA; CHIERICE; PAVAN, 1992; DYNES; HUANG, 1997). Segundo Dynes e Huang (1997), os ácidos orgânicos de baixo peso molecular exsudados pelas plantas mais eficientes na complexação do alumínio são o citrato > oxálico > tartárico > málico > salicílico > aspártico > succínico > p-hidroxibenzoico > acético > fórmico. Já para Miyazawa, Chierice e Pavan (1992), os ácidos orgânicos mais eficientes na complexação são o cítrico > tartárico > oxálico > succínico. A exsudação de ácidos orgânicos é variável em quantidade e tipo, conforme a espécie de planta (STROBEL; BERNHOLF; BORGGARD, 1999), condições de estresse (JONES, 1998) e estimulada por microorganismos que utilizam e produzem outros compostos orgânicos (MARSCHNER, 1995).

## MATERIAL E MÉTODOS

No intuito de avaliar o crescimento de raízes das espécies mais cultivadas no Rio Grande do Sul (soja, trigo e milho) quanto à resistência à toxidez do alumínio, e relacionar indiretamente a produção de compostos orgânicos com o crescimento radicular, foi instalado um bioteste em tubos de ensaio contendo 200 ml de água destilada com Ca 0,02 mmol L<sup>-1</sup> na forma de CaCl<sub>2</sub> (essencial para o desenvolvimento inicial das plântulas e para a manutenção da integridade da membrana celular) (JONES, 1998), cultivando-se duas plântulas pré-germinadas com radículas de 3-5 cm de comprimento, de soja, trigo e milho (*Glycine max*, *Triticum aestivum* e *Zea mays*), por 5 dias. Aplicou-se a esta solução 0,00; 0,075; 0,15 e 0,30 mmol L<sup>-1</sup> de alumínio na forma de AlCl<sub>3</sub>, num delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Os tubos de ensaio foram aerados permanentemente por bomba de aquário. O pH dos tratamentos foi mantido entre 4,3 a 4,5 (utilizando-se solução diluída de HCl ou NaOH), no intuito de proporcionar condições para a manutenção da espécie Al<sup>3+</sup> em solução, considerada mais tóxica para o desenvolvimento radicular das plantas (PARKER; KINRAIDE; ZELAZNY, 1988; SALET; ANGHINONI; KOCHHANN, 1999).

Avaliou-se o comprimento radicular com régua. O raio médio das radículas das plântulas foi estimado, utilizando-se da fórmula descrita por Barber (1995):

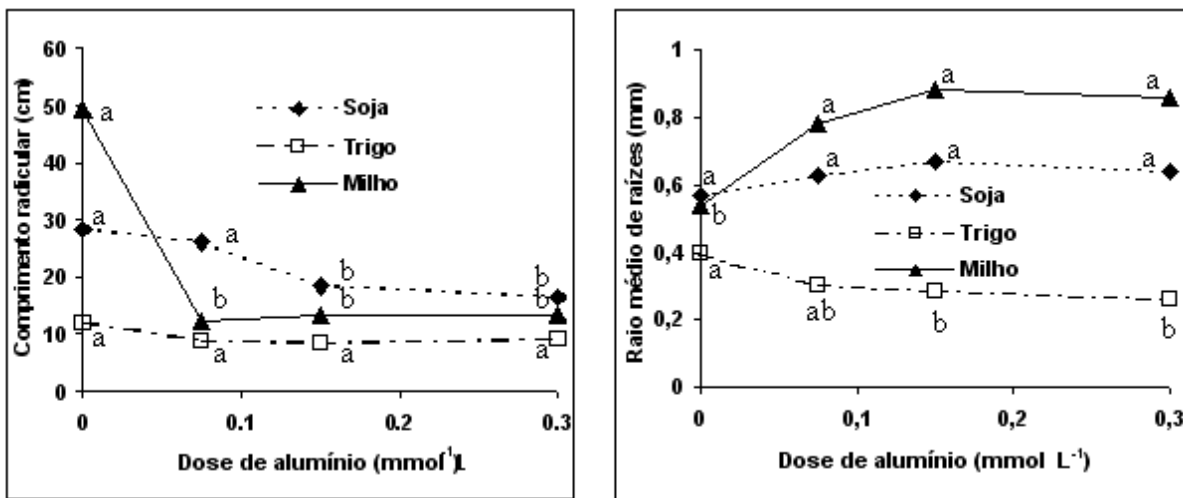
$$r_0 = (V / L \cdot \pi)^{1/2};$$

em que: r<sub>0</sub> = raio da raiz (cm); V= volume da raiz (g cm<sup>3</sup>) - admitindo-se a densidade radicular = 1 g cm<sup>3</sup>; L = comprimento radicular (cm).

A quantidade de exsudatos produzidos pelas plantas foi avaliada medindo-se os teores de carbono orgânico solúvel em solução, de acordo com Moore (1985).

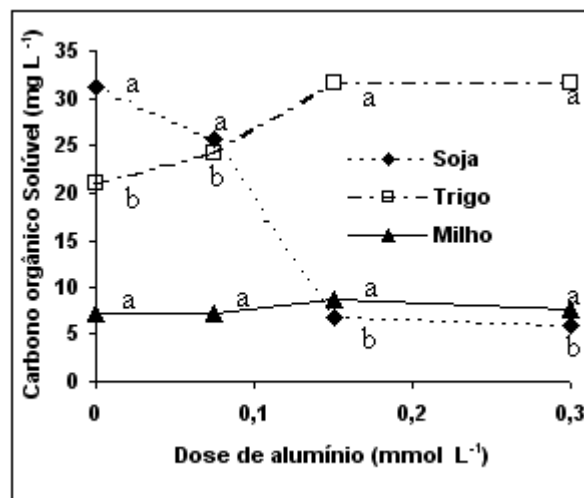
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se, de maneira geral, que as três culturas diminuíram o crescimento radicular à medida que aumentaram as doses de alumínio aplicadas na solução (Figura 1).



**Figura 1** - Comprimento total e raio médio radicular das culturas soja, trigo e milho submetidas a doses de alumínio em solução com CaCl<sub>2</sub>.

Para a soja, a menor dose de alumínio (0,075 mmol L<sup>-1</sup>) adicionada não proporcionou redução no crescimento das radículas (Figura 1) e na quantidade de carbono orgânico solúvel produzido (Figura 2). No entanto, as maiores doses de alumínio adicionadas reduziram significativamente o comprimento radicular, porém sem afetar o raio médio das raízes. O excesso de alumínio em solução ocasiona estresse às plantas. Assim, esperava-se que ocorresse aumento na produção de exsudatos radiculares, avaliados pela concentração de carbono orgânico solúvel em solução (JONES, 1998). No entanto, sob a condição de estresse proporcionada pelas elevadas dosagens de alumínio adicionadas em solução (0,150 e 0,300 mmol L<sup>-1</sup>), a soja reduziu a produção de exsudatos radiculares (Figura 2), discordando dos resultados obtidos por Salisbury e Ross, (1991), provavelmente devido ao menor tamanho das raízes em função do ambiente e das características peculiares à espécie (JONES, 1998), que proporcionalmente exsudaram menores quantidades de carbono orgânico solúvel.



Para a mesma cultura, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Figura 2** - Carbono orgânico solúvel das culturas soja, trigo e milho submetidas a doses de alumínio em solução com  $\text{CaCl}_2$ .

As radículas de trigo, por sua vez, não reduziram significativamente seu crescimento, mesmo nas maiores dosagens de alumínio adicionadas (Figura 1), indicando assim relativa resistência à toxicidade de Al em solução. Além disso, a espessura radicular tendeu a diminuir nas maiores doses de alumínio (0,150 e 0,300 mmol L<sup>-1</sup>), demonstrando que não ocorreu estresse proporcionado pelo alumínio, que refletisse no impedimento do processo de expansão celular das raízes (KOCHIAN, 1995). É importante mencionar que a relativa resistência do trigo à toxidez de alumínio se deve a complexação do alumínio por ácidos orgânicos presentes nos exsudatos radiculares, fora da raiz, impedindo a absorção do alumínio pelas raízes. Isto se confirmou pelo aumento da exsudação radicular, que ocasionou o aumento da quantidade de carbono orgânico solúvel na solução ao final do bioensaio (Figura 2). É importante mencionar que a complexação de alumínio por ácidos orgânicos, depende exclusivamente do tipo e quantidade de grupos funcionais (OH- e/ou COOH) na cadeia carboxílica (HUE; CRADDOCK; ADAMS, 1986; MIYAZAWA; CHIERICE; PAVAN, 1992; DYNES; HUANG, 1997). Provavelmente, além da elevada quantidade de ácidos orgânicos produzidos nas condições de maior estresse (0,150 e 0,300 mmol L<sup>-1</sup>), o tipo de ácidos orgânicos de baixo peso molecular exsudados pelas plantas foram eficazes na complexação do alumínio na solução, proporcionando condições para que o desenvolvimento das radículas de trigo não fosse reduzido.

O milho apresentou um sistema radicular bastante robusto e um porte relativamente superior quando comparado com as outras duas culturas, no tratamento testemunha (comprimento radicular de 49,33 cm). Isto pode ter ocorrido em função da agressividade do sistema radicular, o que caracteriza geneticamente a espécie (Figura 1). A adição da menor dose de alumínio em solução, por sua vez, já reduziu o crescimento das raízes em mais de 4 vezes (12,33 cm) e, conseqüentemente, aumentou significativamente o raio médio radicular. Isto reflete a grande sensibilidade do milho quanto à presença do alumínio em solução, porque doses maiores do elemento em solução não intensificaram a redução do comprimento radicular e também não aumentaram sua espessura. Esta significativa sensibilidade deve estar relacionada à baixa produção de ácidos orgânicos da cultura, pois o metabolismo das raízes de milho não proporcionou aumentos na quantidade de compostos orgânicos produzidos (Figura 2). Assim, a reduzida quantidade de ácidos orgânicos exsudados pelas plantas foram pouco eficientes na complexação do alumínio na solução, permitindo que as raízes absorvessem o Al que prejudica o desenvolvimento radicular.

## CONCLUSÕES

- O crescimento da soja foi afetado apenas nos tratamentos em que foram adicionadas as maiores dosagens de alumínio em solução (0,15 e 0,30 mmol L<sup>-1</sup>).
- O crescimento de raízes de trigo foram pouco afetadas pela adição de alumínio em solução.
- O milho apresentou o maior crescimento de raízes no tratamento testemunha, porém apresentou a maior sensibilidade quanto à presença de alumínio em solução.

## ABSTRACT

The greatest Brazilian agricultural soil are weathered, acid and with high aluminum levels, that are responsible by the smaller grow and raising root. Some plant species can increase the root exsudate production (organic compounds) that form aluminum complexes, avoiding the absorption and toxicity. The objective of this work was to evaluate the root grow and the organic compound production. For this, were cultivated (growing house) for five days, soybean, wheat and mayze plants in aerated tubes (200ml) with 200ml of H<sub>2</sub>O and 0,02 mmol CaCl<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>, and aluminum doses (0, 0,075, 0,15 and 0,30 mmol de Al L<sup>-1</sup>) The pH solution was fixed between 4,3-4,5, where Al remains in toxic form. The results showed that the soybean roots growing was affected just in treatments with 0,150 e 0,300 mmol L<sup>-1</sup> aluminum solution addition. The wheat roots growing was not much affected by the aluminum solution addition. The mayze showed the best root growing in witness treatment, however, it showed the greatest sensibility by the aluminum solution addition.

KEY-WORDS: Comercial cultures, aluminum toxicity, aluminum complexation, soluble organic carbon , pH.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBER, S. A. Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 414 p.

CLARK, R.B. Effect of aluminium on growth and mineral elements of al-tolerant and al-intolerant corn. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 47, p. 653-662, 1977.

DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. *Plant Physiology*, Camberra, v. 107, p. 315-321, 1995.

DYNES, J. J.; HUANG, P. M. Influence of organic acids on selenite sorption by poorly ordered aluminium hydroxides. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 61, n. 3, p. 772-783, 1997.

HUE, N. V.; CRADDOCK, G. R.; ADAMS, F. Effects of organic acids on aluminium toxicity in subsoils. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 50, n. 1, p. 28-34, 1986.

JONES, D. L. Organic acids in the rhizosphere – a critical review. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 205, n. 1, p. 25-44, 1998.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants. *Annual Revision plant physiology mollecular biology*, Bristol, v. 46, p. 237-260, 1995.

LEE, E. H.; FOY, C. D. Aluminum tolerances for two snapbean cultivars related to organic acid content evaluated by high-performance liquid chromatography. *Plant Nutrition*, Dordrecht, v. 9, p. 1481-1498, 1986.

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2. ed . San Diego: Academic. Press., 1995. 889 p.

MIYAZAWA, M.; CHIERICE, G. O.; PAVAN, M. A. Amenização da toxidez de alumínio às raízes do trigo pela complexação com ácidos orgânicos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 16, n. 2, p. 209-215, 1992.

MOORE, T. R. The spectrophotometric determination of dissolved organic carbon in peat waters. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 49, p. 1590-1592, 1985.

PARKER, D. R.; KINRAIDE, T. B.; ZELAZNY, L. W. Aluminum speciation and phytotoxicity in dilute hidroxí-aluminum solutions. *Soil Science Society of American Journal*, Madison, v. 52, n. 3, p. 438-444, 1988.

SALET, R. L.; ANGHINONI, I.; KOCHHANN, R. A. Atividade do alumínio na solução de solo do sistema plantio direto. *Revista Científica Unicruz*, Cruz Alta, v. 1, n. 1, p. 9-13, 1999.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. *Plant physiology*. 4. ed. California: Wadsworth Publishing, 1991. 682 p.

STROBEL, B. J.; BERNHOLF, I.; BORGGARD, O. K. Low molecular weight aliphatic acids in soil solution under different vegetations determined by capillary zone electrophoresis. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 212, n. 1, p. 115-121, 1999.