

TOLERÂNCIA DO PINHÃO-MANSO AO ALUMÍNIO PELO MÉTODO DO PAPEL-SOLUÇÃO

TOLERANCE OF PHYSIC NUT TO ALUMINUM USING THE SOLUTION-PAPER METHOD

¹MACHADO, J.S.; ²HONDA, G.B.; ³OLIVEIRA, B.L.N.;
⁴GONÇALVES NETO, B.C.; ⁵AIZZO, P.G.; ⁶STEINER, F.

^{1 a 6} Departamento de Agronomia – Faculdades Integradas de Ourinhos-FIO/FEMM

RESUMO

A toxicidade de alumínio (Al^{3+}) é um dos principais fatores que limitam a germinação das sementes e o desenvolvimento das culturas em solos ácidos. Este estudo teve como objetivo avaliar o efeito do alumínio na germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) pelo método da papel-solução. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas concentrações de alumínio da solução de 0, 20, 40, 60 e 80 mg L^{-1} de Al, na forma de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada em laboratório pelos testes de germinação, primeira contagem da germinação, comprimento da parte aérea e raiz, massa seca da parte aérea e raiz. Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que: a germinação e o crescimento das plântulas de pinhão-manso são reduzidos com o aumento da concentração de Al. Além disso, os efeitos fitotóxicos do Al é mais acentuado sobre o sistema radicular do que na parte aérea. A concentração de 80 mg L^{-1} de Al impossibilita a germinação das sementes e o crescimento inicial das plântulas de pinhão-manso. O pinhão-manso é uma espécie sensível à alta concentração de alumínio na solução durante a fase de germinação e crescimento inicial.

Palavras-chave: *Jatropha curcas*. Toxicidade do Alumínio. Germinação das Sementes.

ABSTRACT

The aluminum (Al) toxicity of aluminum is one of the main factors that limit seed germination and crop development in acid soils. This study aimed to evaluate the effect of aluminum on seed germination and initial seedling growth of physic nut (*Jatropha curcas* L.) using the solution-paper method. The experimental design was completely randomized with five treatments and five replications. The treatments consisted of Al concentrations in solution of 0, 20, 40, 60 and 80 mg L^{-1} de of Al in the form of $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$. The seed quality was evaluated in the laboratory by germination, first count of germination, shoot and root length, shoot and root dry matter. Based on the results obtained, we can conclude that the germination and seedling growth of physic nut are reduced with increasing Al concentration. In addition, the phytotoxic effects of Al is more pronounced on the root than on shoot. The concentration of 80 mg L^{-1} Al prevents seed germination and early growth of seedlings of physic nut. The physic nut is a species sensitive to high concentration of aluminum in solution during the germination and early growth.

Keywords: *Jatropha curcas*. Aluminum Toxicity. Seed Germination.

INTRODUÇÃO

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) é uma espécie nativa da América tropical e pertence à família Euphorbiaceae. É uma cultura que se encontra amplamente distribuída nas áreas áridas e semi-áridas da América do Sul e em todas as regiões tropicais da América Central e do do Sul, África, Índia, Sudeste Asiático e Austrália (KING et al., 2009). Nos últimos anos, esta cultura tem recebido

atenção especial devido ao seu elevado teor de óleo nas sementes, que pode ser utilizado na produção de biodiesel. (ARRUDA et al., 2004; KUMAR; SHARMA, 2008).

Esta espécie tem sido relatada como uma planta rústica, que cresce em áreas com condições limitante, como a deficiência hídrica e altas temperaturas, e condições de solo marginais de baixa fertilidade natural (ARRUDA et al., 2004; SATURNINO et al., 2005), onde a maioria das culturas de interesse agrícola não são capazes de crescer de forma satisfatória (FRANCIS et al., 2005). No entanto, para alcançar altos níveis de produtividade, a planta requer solos férteis e boas condições físicas e hídricas (KUMAR; SHARMA, 2008). De acordo com Arruda et al. (2004), em solos ácidos com pH abaixo de 4,5, raízes de pinhão-mansão não crescem. Assim, a correção da acidez e da fertilidade do solo são fundamentais para se obter sucesso e lucratividade com a cultura (LAVIOLA; DIAS, 2008; SOUZA et al., 2011). Esta constatação torna-se, ainda, mais relevante em decorrência das principais regiões produtoras de pinhão-mansão no Brasil encontrarem-se localizadas em solos ácidos, caracterizados por baixa saturação por bases e teores elevados de Al^{3+} , suficientes para alterar o crescimento normal de muitas espécies de plantas cultivadas.

Até o momento pouco se conhece sobre os efeitos da presença de alumínio (Al^{3+}) no processo de germinação das sementes de pinhão manso. A toxicidade do Al é considerada um dos principais fatores que limitam o crescimento das plantas, por causar inibição do crescimento radicular (GIANNAKOULA et al., 2008). No Brasil, o Al em níveis tóxicos está presente em 60% das áreas com potencial agrícola (SANCHES; SALINAS, 1981). Assim, o conhecimento e seleção de espécies menos sensíveis aos efeitos deletérios do Al é uma alternativa que oferece possibilidade de sucesso, para a implantação destas culturas nestas áreas agrícolas.

Diversos estudos têm sido realizados utilizando soluções nutritivas com o intuito de determinar a tolerância de espécies perenes ao Al (BRACCINI et al., 1998; TECCHIO et al., 2006; STOLF et al., 2008; MATTIELLO et al., 2008; NAING et al., 2009; MACEDO et al., 2011; STEINER et al., 2012; LANA et al., 2013). No entanto, não há estudos que avaliaram os efeitos do Al na germinação das sementes de pinhão-mansão. A toxicidade provocada pelo alumínio manifesta-se, inicialmente, pela redução da taxa de alongação radicular após o contato com a

solução contendo Al (CUSTÓDIO et al., 2002) e drástica redução no crescimento da parte aérea (BEUTLER et al., 2001). Segundo Sivagura et al. (1992), os efeitos fitotóxicos do Al nas raízes incluem redução na massa de matéria seca, no número e no comprimento de raízes laterais e na área radicular, que frequentemente estão associados ao aumento no diâmetro das raízes e no volume radicular.

Uma melhor compreensão da tolerância do pinhão-mansão ao Al é essencial, a fim de adotar estratégias competitivas para melhorar a produção agrícola. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito do alumínio na germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) pelo método da papel-solução.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Departamento de Agronomia das Faculdades Integradas de Ourinhos, SP, durante os meses de abril e maio de 2014. Sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.), foram selecionadas e, em seguida, esterilizadas superficialmente durante 5 minutos com hipoclorito de sódio, contendo cloro ativo a 1,0%. Depois disso, as sementes foram exaustivamente lavadas com água destilada, para a retirada do hipoclorito. Em seguida, as sementes foram colocadas para germinar em água destilada (controle) ou em soluções com os seguintes níveis de Al: 20, 40, 60 e 80 mg L⁻¹ de Al, obtidas através de diluições de Al₂(SO₄)₃.16H₂O em água destilada. Neste estudo, a determinação da tolerância do pinhão-mansão ao Al durante a fase de germinação e crescimento inicial foram avaliadas utilizando-se o método do papel-solução (KONZAK et al., 1976).

A qualidade fisiológica das sementes foi avaliada pelos testes de:

Germinação (G): realizado com cinco repetições de 30 sementes, postas para germinar sobre três folhas de papel-toalha do tipo germitest[®], previamente umedecidas com água destilada (nível zero) e com solução de Al nos referidos níveis de acidez em quantidade equivalente a 2,5 vezes a massa seca do papel. Em seguida, foram confeccionados rolos de papel, mantidos em temperatura constante de 25 °C (BRASIL, 2009). As avaliações foram realizadas aos sete e quatorze dias após a instalação do teste, e os resultados expressos em

porcentagem de plântulas normais, de acordo com as recomendações das Regras para Análise de Sementes – RAS (BRASIL, 2009).

Primeira contagem da germinação (PCG): foi efetuada aos sete dias por ocasião do teste de germinação sendo contabilizadas as plântulas normais. Foram consideradas como plântulas normais, aquelas que apresentavam todas as suas estruturas essenciais bem desenvolvidas, completas e sadias (BRASIL, 2009).

Comprimento de parte aérea (CPA) e raiz (CR): realizado aos quatorze dias após a montagem do teste de germinação, sendo as plântulas escolhidas aleatoriamente (dez plântulas). Determinou-se o comprimento da parte aérea e da raiz principal das plântulas, com auxílio de régua graduada em milímetros. Os comprimentos médios da parte aérea e raiz foram obtidos somando-se as medidas de cada repetição e dividindo-se pelo número de plântulas avaliadas, com os resultados expressos em centímetros.

Massa seca da parte aérea (MSPA) e das raízes (MSR): foram realizadas juntamente com o teste de germinação. A parte aérea e raiz foram separadas com auxílio de bisturi, colocados em sacos de papel e levados para secar em estufa com circulação a 60 °C, durante 72 horas. Após esse período, as amostras foram pesadas em balança analítica com precisão de 0,0001 g, os resultados foram expressos em mg/plântula (NAKAGAWA, 1999). Foram também avaliadas a porcentagem de plântulas anormais e de sementes mortas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram constituídos pelas concentrações de alumínio no papel-solução de 0, 20, 40, 60 e 80 mg L⁻¹ de Al.

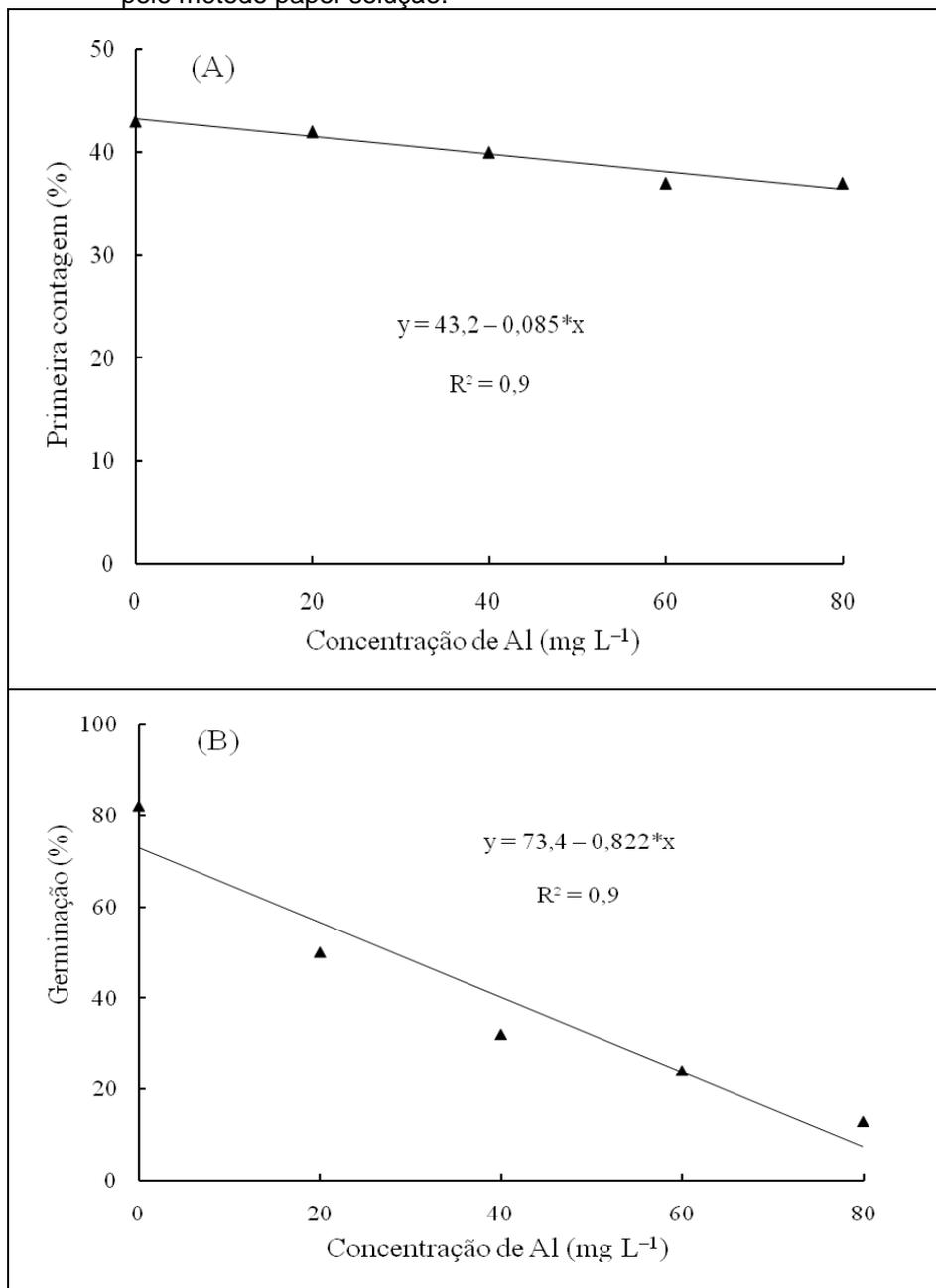
Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se a teste F a 5%, e, quando os efeitos dos níveis de Al foram significativos, os dados foram submetidos a análise de regressão ao nível de significância de 5%. As equações significativas com os maiores coeficientes de determinação (R²) foram ajustadas. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software SigmaPlot versão 11.0 para Windows (Systat Software, Inc., San Jose, CA, EUA).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira contagem da germinação e a germinação das sementes de pinhão-mansão foram afetadas negativamente pela presença de Al (Figura 1). O aumento da concentração de Al na solução reduziu linearmente os valores da primeira contagem de germinação e a germinação das sementes de pinhão-mansão. A primeira contagem de germinação reduziu de 43,2% para 36,4% na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 1A). A germinação reduziu de 73,4% para 7,6%, indicando que houve decréscimo de 65,8% comparando-se a germinação das sementes na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 1B). Quando as plantas foram expostas a concentração de 80 mg L⁻¹ de Al, praticamente não houve germinação das sementes. Estes dados sugerem que o pinhão-mansão é uma espécie sensível aos efeitos deletérios do Al durante o processo de germinação das sementes. Portanto, a implantação destas culturas em áreas agrícolas com níveis elevados de acidez trocável devem ser evitada.

O crescimento da parte aérea das plântulas de pinhão-mansão foi afetado negativamente pela presença de Al (Figura 2). O aumento da concentração de Al no papel-solução reduziu linearmente o comprimento da parte aérea e a produção de matéria seca da parte aérea das plântulas de pinhão-mansão. O comprimento da parte aérea das plântulas reduziu de 14,9 cm para 11,9 cm, indicando que houve redução de 20% comparando-se o comprimento das plântulas na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 2A). A produção de matéria seca da parte aérea reduziu de 72,8 mg/plântula para 51,2 mg/plântula, indicando que houve redução de 30% comparando-se a matéria seca da parte aérea na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 2B). A fitotoxicidade do Al no crescimento da planta refletiu no menor crescimento inicial da parte aérea, especialmente no maiores níveis de Al na solução. De acordo com Beutler et al. (2001), dentre os efeitos causados na parte aérea pela toxicidade do Al está à redução da altura e da produção de matéria seca das plantas.

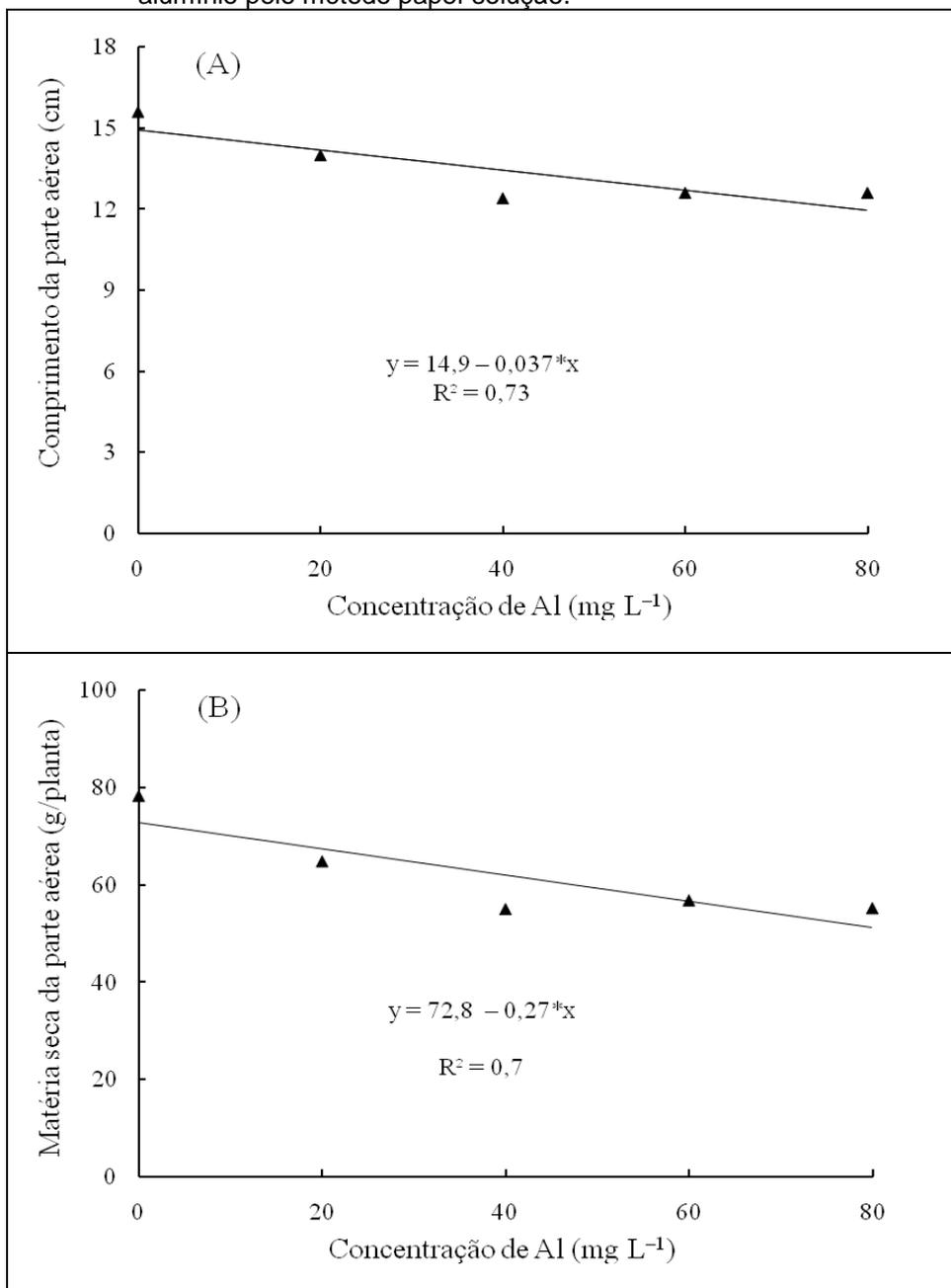
Figura 1. Primeira contagem de germinação (A) e germinação (B) de sementes de pinhão-mansó submetidas a diferentes concentrações de alumínio pelo método papel-solução.



Em plantas de cafeeiro (BRACCINI et al., 1998) e de macieira (DANTAS et al., 2001) foi constatado que um dos principais efeitos do Al na parte aérea das plantas é o encurtamento dos internódios, resultando em plantas de menor altura. Steiner et al. (2012) verificaram que a altura das plantas de pinhão-mansó foi reduzida em 54% comparando-se com as plantas na ausência e na presença de 40 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva. Em porta-enxertos de macieira Tecchio et al. (2006), constataram decréscimos, aos 75 dias, na ordem de 81 e 85% para a altura

das plantas e matéria seca da parte aérea, respectivamente, quando submetido à concentração de 30 mg L^{-1} de Al em solução nutritiva.

Figura 2. Comprimento da parte aérea (A) e matéria seca da parte aérea (B) das plântulas de pinhão-mansão submetidas a diferentes concentrações de alumínio pelo método papel-solução.



O crescimento das raízes das plântulas de pinhão-mansão foi afetado negativamente pela presença de Al (Figura 2). O aumento da concentração de Al no papel-solução reduziu linearmente o comprimento da raiz principal e a produção de matéria seca das raízes das plântulas de pinhão-mansão. O comprimento da raiz

principal reduziu de 15,4 cm para 11,7 cm, indicando que houve redução de 76% comparando-se o comprimento das plântulas na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 2A). A produção de matéria seca das raízes reduziu de 11,6 mg/plântula para 2,0 mg/plântula, indicando que houve redução de 83% comparando-se a matéria seca das raízes na ausência e na presença de 80 mg L⁻¹ de Al (Figura 2B). Quando as plantas foram expostas a concentração de 80 mg L⁻¹ de Al, praticamente não houve crescimento das raízes.

Steiner et al. (2012) verificaram que o percentual de redução para o comprimento da raiz principal e matéria seca das raízes de pinhão-mansão, aos 75 dias, foram de 75 e 54% ao se comparar o crescimento das plantas na ausência e na presença de 40 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva, respectivamente. Macedo et al. (2011) verificaram que o comprimento e a produção de matéria fresca de raízes de pinhão-mansão foram reduzidos, respectivamente, em 25 e 38 % quando expostos, por sete dias, a concentração de 6 mg L⁻¹ de Al em solução nutritiva.

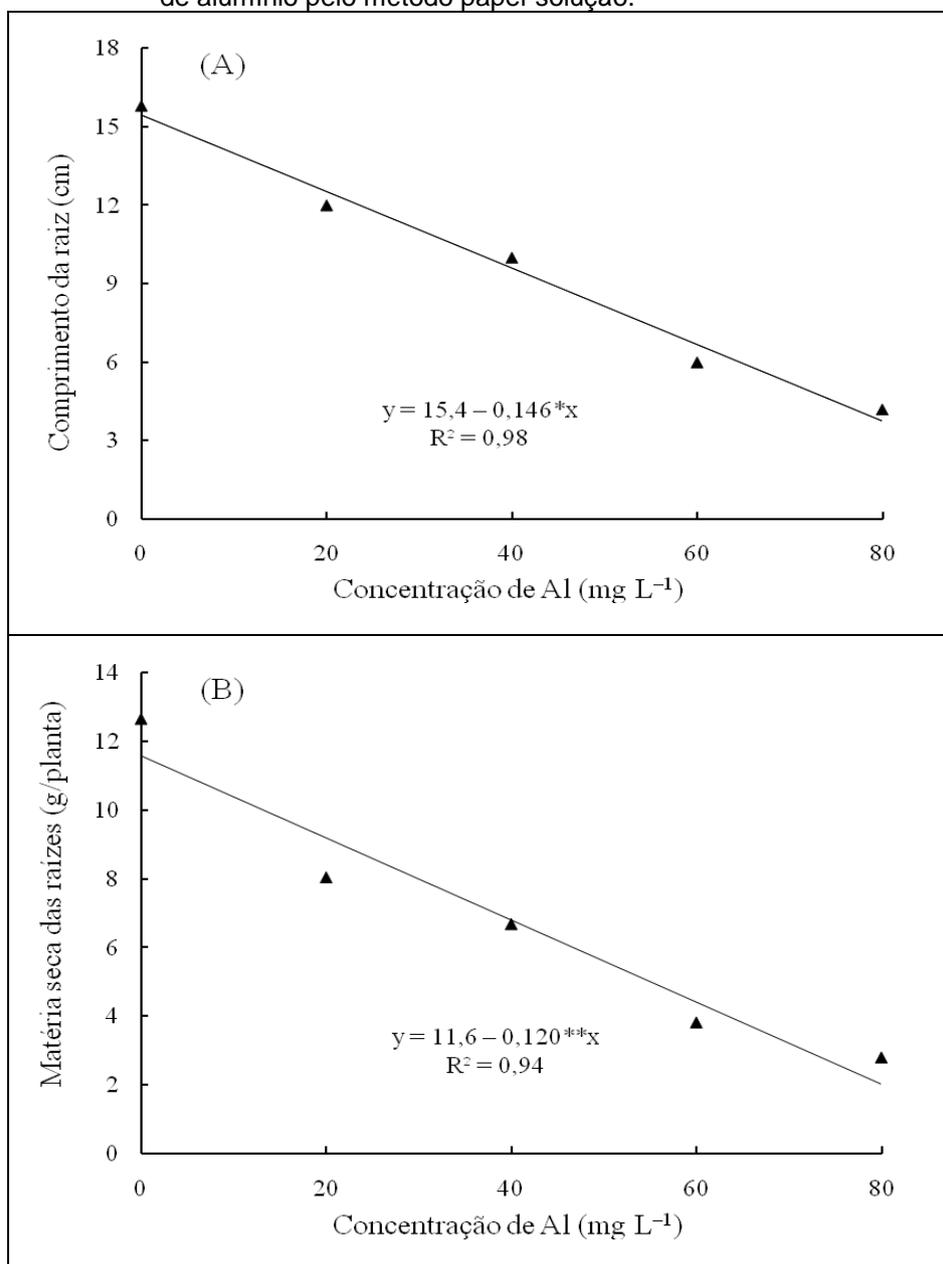
Segundo Sivagura et al. (1992), os efeitos fitotóxicos do Al no sistema radicular incluem redução na massa de matéria seca, no número e no comprimento de raízes laterais e na área radicular, que frequentemente estão associados ao aumento no diâmetro das raízes e no volume radicular. Em consequência disso, a absorção de água e, principalmente, de nutrientes é prejudicada. A tolerância das espécies vegetais ao Al tem sido atribuída à capacidade das plantas manterem em suas raízes ou na parte aérea níveis adequados de nutrientes (MENDONÇA et al., 2003), especialmente, de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg).

Nas raízes, os sintomas de toxidez de Al foram bastante evidentes, manifestando-se por meio do engrossamento e amarelecimento das pontas das raízes. As raízes das plantas controle (sem alumínio) eram longas, de superfície externas e de coloração mais clara. Os sintomas de toxidez de Al nas raízes de pinhão-mansão foram semelhantes aos reportados por Braccini et al. (1998), em cafeeiro.

Em geral, os efeitos deletérios decorrentes da presença de Al no papel-solução foram mais evidentes nas raízes e podem ser atribuída a baixa mobilidade deste elemento na planta, conforme reportados por Giaveno et al. (2001). De acordo com Epstein e Bloom (2006), frequentemente, fatores nutricionais influenciam o crescimento e a morfologia de órgãos particulares das plantas, de maneira específica. Como as raízes são os órgãos em contato direto com a

solução do solo estas são, especialmente, mais propensas a serem afetadas por alterações neste ambiente.

Figura 3. Comprimento da raiz principal (A) e matéria seca das raízes (B) de plântulas de pinhão-manso submetidas a diferentes concentrações de alumínio pelo método papel-solução.



Os efeitos do Al nas raízes são bem documentados na literatura, e a redução da taxa de crescimento radicular de espécies sensíveis tem sido considerada o principal efeito de níveis tóxicos de Al que influi no alongamento e na divisão celular (EPSTEIN; BLOOM, 2006). De acordo com Samac e Tesfaye (2003) o sítio primário da ação tóxica do Al é a parte distal da zona de transição no ápice

das raízes, onde as células estão entrando em fase de alongamento. A inibição do crescimento da raiz é o sintoma visível mais rápido da toxicidade do Al em plantas. (DEGENHARDT et al., 1998; SAMAC; TESFAYE, 2003).

Segundo Barceló e Poschenrieder (2002) e Illés et al. (2006), o dano na formação da estrutura das raízes - engrossamento e diminuição da permeabilidade das células radiculares - contribui para acentuar os efeitos deletérios do Al no sistema radicular. Massot et al. (1992) consideram que um dos principais efeitos do Al reside na inibição do crescimento das raízes, que se tornam curtas e grossas. Essa característica, por sinal, serve como o melhor indicador para se avaliar o nível de tolerância ao Al, em solução nutritiva, para as espécies.

CONCLUSÕES

A germinação das sementes e o crescimento das plântulas de pinhão-mansão são reduzidos com o aumento da concentração de Al.

Os efeitos fitotóxicos do alumínio é mais acentuada sobre o sistema radicular do que na parte aérea.

A concentração de 80 mg L⁻¹ de Al impossibilita a germinação das sementes e o crescimento inicial das plântulas de pinhão-mansão.

O pinhão-mansão é uma espécie sensível à alta concentração de alumínio na solução durante a fase de germinação e crescimento inicial.

REFERÊNCIAS

ARRUDA, F.P.; BELTRÃO, N.E.M.; ANDRADE, A.P.; PEREIRA, W.E.; SEVERINO, L.S. Cultivo de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 8, p. 789-799, 2004.

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Fast root growth responses, root exudates and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and resistance: a review. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 48, p. 75-92, 2002.

BEUTLER, A.N.; FERNANDES, L.A.; FAQUIN, V. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.923-928, 2001.

BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G.; SAMPAIO, N.F.; SILVA, E.A.M. Tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al em solução nutritiva. I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.435-442, 1998.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ ACS, 2009. 395 p.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.59, p.145-153, 2002.

DANTAS, A.C.M.; FORTES, G.R.L.; SILVA, J.B.; NEZI, A.N.; RODRIGUES, A.C. Tolerância ao alumínio em porta-enxertos somaclonais de macieira cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.615-623, 2001.

DEGENHARDT, J.; LARSEN, P.B.; HOWELL, S.H.; KOCHIAN, L.V. ALUMINUM resistance in the Arabidopsis mutant alr-104 is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH. **Plant Physiology**, Rockville, v.117, p.19-27, 1998.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas**: princípios e perspectivas. Trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta, 86p. 2006.

FRANCIS, G.; EDINGER, R.; BECKER, K. A concept for simultaneous wasteland reclamation, fuel production, and socio-economic development in degraded areas in India: need, potential and perspectives of *Jatropha* plantations. **Nature Resources Forum**, Oxford, v.29, n.1, p.12-24, 2005.

GIANNAKOULA, A.; MOUSTAKAS, M.; MYLONA, P.; PAPADAKIS, I.; YUPSANIS, T. Aluminum tolerance in maize is correlated with increased levels of mineral nutrients, carbohydrates and proline, and decreased levels of lipid peroxidation and Al accumulation. **Journal of Plant Physiology**, Stuttgart, v.165, p.385-396, 2008.

GIAVENO, G.D.; MIRANDA-FILHO, J.B.; FURLANI, P.R. Inheritance of aluminum tolerance in maize (*Zea mays* L.). **Journal of Genetics & Breeding**, Roma, v. 55, n. 1, p.5 1-55, 2001.

ILLÉS, P.; SCHLICHT, M.; PAVLOVKIN, J.; LICHTSCHEIDL, I.; BALUSKA, F.; OVECKA, M. Aluminum toxicity in plants: internalization of aluminium into cells of the transition zone in *Arabidopsis* root apices related to changes in plasma membrane potential, endosomal behaviour, and nitric oxide production. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.57, p.4201-4213, 2006.

KING, A. J.; HE, W.; CUEVAS, J. A.; FREUDENBERGER, M.; RAMIARAMANANA, D.; GRAHAM, I. A. Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 10, p. 2897-2905, 2009.

KONZAK, C.F.; POLLE, E.; KITTRICK, J.A. Screening several crops for aluminum tolerance. In: workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils., 1976, Beltsville. **Proceedings....** Ithaca: Cornell University Press, 1976. p.311-327.

KUMAR, A.; SHARMA, S. An evaluation of multipurpose oil seed crop for industrial uses (*Jatropha curcas* L.): A review. **Industrial Crops and Products**, Amsterdã, v.28, p.1-10, 2008.

LANA, M.C.; STEINER, F.; ZOZ, T.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J.F. Tolerance of physic nut plants to aluminum activity in nutrient solution. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 29, n. 3, p. 582-589, 2013.

LAVIOLA, B.G.; DIAS, L.A.S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1969-1975, 2008.

MACEDO, F.L.; PEDRA, W.N.; SILVA, S.A.; BARRETO, M.C.V.; SILVA-MANN, R. Efeito do alumínio em plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

MASSOT, N.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Differential response of three bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars to aluminum. **Acta Botanica Neerlandica**, Stuttgart, v.41, p.293-298, 1992.

MATTIELLO, E.M.; PEREIRA, M.G.; ZONTA, E.; MAURI, J.; MATIELLO, J.D.; MEIRELES, P.G.; SILVA, I.R. Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por *Coffea canephora* e *Coffea arabica* sob influência da atividade do alumínio em solução. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.425-434, 2008.

MENDONÇA, R.J.; CAMBRAIA, J.; OLIVEIRA, J.A.; OLIVA, M.A. Efeito do alumínio na absorção e na utilização de macronutrientes em duas cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.843-848, 2003.

NAING, K.W.; ANGELES, D.E.; PROTACIO, C.M., CRUZ, P.C.S. Tolerance of mango (*Mangifera indica* L. *Anacardiaceae*) seedlings to different levels of aluminum. **Philippine Journal of Crop Science**, Philippines, v.9, p.33-42, 2009.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYŻANOWSKI, F. C.; VIEIRA, R. D.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes: conceitos e testes. **ABRATES**, Londrina, cap. 2, p. 9-13, 1999.

SAMAC, D.A.; TESFAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils: a review. **Plant Cell Tissue and Organ Culture**, Dordrecht, v.75, p.189-207, 2003.

SANCHEZ, P.A.; SALINAS, J.G. Low-input technologies for managing oxisols and ultisols in tropical América. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.34, p.279-406, 1981.

SATURNINO, H.M.; PACHECO, D.D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N.P. Cultura do pinhão-mansô (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.26, p.44-78, 2005.

SIVAGURU, M.; JAMES, M.R.; ANBUDURAI, P.R.; BALAKUMAR, T. Characterization of differential aluminum tolerance among rice genotypes cultivated in South India. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.15, p.233-246, 1992.

SOUZA, P.T. DE; SILVA, E.B.; GRAZZIOTTI, P.H.; FERNANDES, L.A. NPK fertilization on initial growth of physic nut seedlings in Quartzarenic Neossol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.35, p.559-566, 2011.

STEINER, F.; ZOZ, T.; PINTO JUNIOR, A.S.; CASTAGNARA, D.D.; DRANSKI, J.A.L. Effects of aluminum on plant growth and nutrient uptake in young physic nut plants. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 5, p. 1779-1788, 2012.

STOLF, E.C.; DANTAS A.C.M.; BONETI, J.I.; COMIN, J.J.; NODARI, R.O. Estabelecimento de critérios para selecionar porta-enxertos de macieira tolerantes ao alumínio em solução nutritiva. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v.30, p.476-471, 2008.

TECCHIO, M.A.; PIRES, E.J.P.; TERRA, M.M.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J.C.; VIEIRA, C.R.Y.I. Tolerância de porta-enxertos de videira cultivados, em solução nutritiva, ao alumínio. **Revista Ceres**, Viçosa, v.53, p.243-250, 2006.