

Emergência de plântulas e crescimento inicial do pinhão manso exposto a alumínio

Seedling emergence and early growth of jatropha plants exposed to aluminum

Carla Regina Baptista Gordin^{1*}; Rodolpho Freire Marques²; Rosangela Juliana Marques Rosa²; Adriana Marques dos Santos²; Silvana de Paula Quintão Scalón³

Resumo

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma oleaginosa com potencial para a produção de biodiesel com poucas informações a respeito do efeito do alumínio sobre a germinação e crescimento inicial. Objetivou-se avaliar a germinação de sementes e o crescimento inicial do pinhão manso exposto a soluções de alumínio na água de irrigação. No primeiro experimento avaliou-se a emergência das plântulas na presença de cinco concentrações da solução de alumínio hexahidratado ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na água de irrigação: 0, 5, 10, 15 e 20 mmol L^{-1} . Avaliou-se a porcentagem, o índice de velocidade e o tempo médio de emergência, altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes das plântulas. No segundo experimento as plantas foram mantidas livres de alumínio até os 25 dias após a semeadura (DAS) e foram então expostas às mesmas concentrações de alumínio do primeiro experimento. Avaliou-se a porcentagem de sobrevivência, índice de clorofila, área foliar, altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes. A emergência e a velocidade de emergência das plântulas de pinhão manso foram reduzidas com o aumento das concentrações de alumínio na água de irrigação, havendo redução na emergência de plântulas de 98% na concentração de 20 mmol L^{-1} . As plantas expostas ao alumínio aos 25 DAS apresentaram enrolamento dos bordos, clorose e necrose nas folhas, além de redução no porcentual de sobrevivência, altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes. Portanto, o alumínio em solução prejudica a emergência e o crescimento inicial de plantas de pinhão manso, observando-se seu efeito tóxico a partir da concentração de 5 mmol L^{-1} .

Palavras-chave: *Jatropha curcas* L., oleaginosa, toxicidade

Abstract

Jatropha curcas L. is a potential oilseed crop for biodiesel production with scarce information about the aluminum effect on the emergence and early growth. This work aimed to evaluate the seed germination and early plant growth of *Jatropha* plants subjected to aluminum in the irrigation water. Seedlings emergence was evaluated in the presence of five concentrations of aluminum chloride hexahydrated ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) in irrigation water: 0, 5, 10, 15 and 20 mmol L^{-1} . Data was taken on percentage of seedling emergence, speed index, average time for emergence, height, root lengths and shoot and root dry weights. In another experiment, the plants were raised in absence of aluminum up to 25 days after sowing (DAS) and then subjected to the same aluminum concentration in the first experiment. Data

¹ Eng^a Agr^a, Mestre em Agronomia, Faculdade de Ciências Agrárias, FCA, Universidade Federal da Grande Dourados, UFGD, Dourados, MS. E-mail: carlagordin@ufgd.edu.br

² Engenheiros Agrônomos, Mestrando(s) em Agronomia, FCA/UFGD, Dourados, MS. E-mail: rodphfm@hotmail.com; juagro1@hotmail.com; dri_marques_22@hotmail.com

³ Prof^a Adjunta, FCA/UFGD, Dourados, MS. E-mail: silvanascalon@ufgd.edu.br

* Autor para correspondência

was taken on survival rate, chlorophyll content, leaf area, height, root length and shoot and root dry weights. The emergence and speed index of *Jatropha* seedlings was reduced by the increased aluminum concentrations in irrigation water, with a decrease in seedling emergence of 98% at concentration of 20 mmol L⁻¹. The plants exposed to aluminum at 25 DAS had leaf edge rolling, leaf chlorosis and necrosis, and reduced survival rate, leaf area, chlorophyll content, and shoot and root lengths and dry weights. Therefore, the aluminum in solution affect the seedlings emergence and early growth of *Jatropha* plants, observing its toxic effect from the concentration of 5 mmol L⁻¹.

Key words: *Jatropha curcas* L., oil plant, toxicity

Introdução

A toxidez por alumínio é considerada um dos mais importantes fatores limitantes para o crescimento das plantas em solos ácidos, principalmente em pH menor que 5 (DONCHEVA et al., 2005; MAZZOCATO et al., 2002). Nas regiões tropicais e subtropicais, os solos são caracteristicamente ácidos, seja pela ocorrência de elevada precipitação, que lixivia quantidades apreciáveis de bases permutáveis, como cálcio, magnésio, potássio e sódio, seja pela ausência de minerais primários e secundários, responsáveis pela reposição dessas bases (MARIN et al., 2004).

O primeiro estágio de desenvolvimento das plantas é a germinação das sementes, a qual é influenciada diretamente pelas condições ambientais. Muitas dessas condições estão relacionadas com as propriedades do substrato no qual a semente é disposta (YAMASHITA; GUIMARÃES, 2011). A toxicidade do alumínio pode reduzir a germinação, exercendo influências decisivas sobre o metabolismo das sementes, pois as membranas celulares alteram-se quando expostas as concentrações de alumínio, aumentando sua permeabilidade e culminando com o efluxo dos solutos do interior. Dessa forma, ocorre a peroxidação lipídica, como sendo um dos primeiros efeitos sobre a bicamada. Em decorrência disso, o potencial elétrico da parede é alterado e o alumínio atua degenerando os canais das proteínas de membrana (MACEDO et al., 2008).

Nas plantas o sintoma mais facilmente reconhecido da toxidez de alumínio é a inibição do crescimento da raiz, provocando suscetibilidade ao déficit hídrico e à deficiência nutricional. Quando são submetidas a adição de alumínio os sintomas

são observados rapidamente, principalmente pela ocorrência de necrose nas folhas (MARIN et al., 2004; TABALDI et al., 2007; MACEDO et al., 2008). Entretanto, em decorrência da sua complexidade química, a fitotoxicidade do alumínio não está totalmente esclarecida. Enquanto para alguns autores a causa primária da inibição do crescimento da raiz pelo alumínio é o comprometimento da mitose nas células do meristema apical da raiz, outros defendem a hipótese de que o alumínio pode se ligar a muitos componentes celulares antes de entrar no núcleo, sendo tóxico antes mesmo de penetrar nas células da raiz (ECHART; CAVALLI-MOLINA, 2001).

Algumas espécies de plantas apresentam mecanismos de tolerância à toxidez de alumínio, como a imobilização nas paredes celulares; o aumento do pH na rizosfera, precipitando o alumínio em solução; o transporte ativo para fora do citoplasma celular e a liberação de ácidos orgânicos radiculares, os quais formam complexos ou quelatos com o alumínio, evitando assim a sua absorção pelas raízes (SCHLINDWEIN et al., 2003). No entanto, a tolerância genética ao alumínio varia entre espécies e indivíduos de uma mesma espécie (TABALDI et al., 2007).

O pinhão manso é uma planta produtora de óleo com potencial para a fabricação de biodiesel, pertencente à família das Euforbiáceas, procedente da América do Sul e possivelmente com origem no Brasil, sendo encontrada praticamente em todas as regiões do país (MACEDO et al., 2011). Sua utilização como matéria prima para a produção de bioenergia deve-se a características agrônomicas como alto potencial de produção de óleo e sua

perenidade (MARTINS et al., 2010). Para se obter alta produtividade de frutos a planta exige solos férteis e com boas condições físicas. Logo, a correção da acidez e da fertilidade do solo é decisiva para se obter sucesso e lucratividade nessa cultura (LANA et al., 2009). Arruda et al. (2004) relatam que em solos ácidos, com pH abaixo de 4,5 as raízes do pinhão manso não se desenvolvem, sendo necessária a realização de calagem.

Apesar da grande demanda por informações sobre essa cultura, ainda não há genótipos selecionados, sistema de produção e zoneamento agrícola definidos. Entretanto, com a possibilidade de uso do óleo de pinhão manso para a produção do biodiesel, novas e amplas perspectivas se abrem para o aumento das áreas de plantio com esta cultura, havendo uma importante demanda por pesquisas na área de tecnologia de sementes e de produção de mudas (NERY et al., 2009; ANDRÉO-SOUZA et al., 2010). Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito do alumínio na água de irrigação na emergência e no crescimento inicial de plantas de pinhão manso.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), em Dourados/MS, durante o segundo trimestre de 2010, sob altitude média de 446 m, latitude de 22° 11' 45''S e longitude 54° 55' 18''W. As sementes utilizadas foram cedidas pela Embrapa Agropecuária Oeste (Dourados, MS), colhidas na safra 2008/09 e armazenadas em câmara fria e seca (15°C e 55%UR).

A sementeira foi realizada em vasos de polietileno com capacidade para seis litros, preenchidos com areia lavada e peneirada, dispostos sob telado plástico em casa de vegetação revestida com malha termorrefletora 50% (Aluminet®). A temperatura e a umidade relativa médias durante o experimento foram de 22±2°C e 58%.

No primeiro experimento avaliou-se a emergência de plântulas de pinhão manso na presença de cinco concentrações da solução de alumínio hexahidratado ($\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) na água de irrigação: 0, 5, 10, 15 e 20 mmol L⁻¹. O experimento teve a duração de 25 dias e os efeitos das concentrações de alumínio sobre as sementes de pinhão manso foram avaliados por meio da porcentagem, índice de velocidade (MAGUIRE, 1962) e tempo médio de emergência (EDMOND; DRAPALLA, 1958). As plântulas foram analisadas quanto à altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes, utilizando régua graduada e balança analítica de precisão, respectivamente.

No segundo experimento avaliou-se o crescimento inicial de plantas de pinhão manso na presença do alumínio em solução. Todos os vasos receberam irrigação com água destilada até os 25 dias após a sementeira (DAS) e nos dias subsequentes a irrigação foi realizada com soluções de alumínio nas mesmas concentrações utilizadas no primeiro experimento. Aos 50 DAS foi realizada a avaliação final das plantas utilizando-se a porcentagem de sobrevivência, índice de clorofila (utilizando o Chlorophyll Meter SPAD 502), área foliar (medido pelo integrador de área foliar LI Cor 3000), altura das plantas, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes. Para ambos os ensaios, a irrigação foi realizada a cada dois dias, utilizando-se 100 mL da solução de alumínio por vaso.

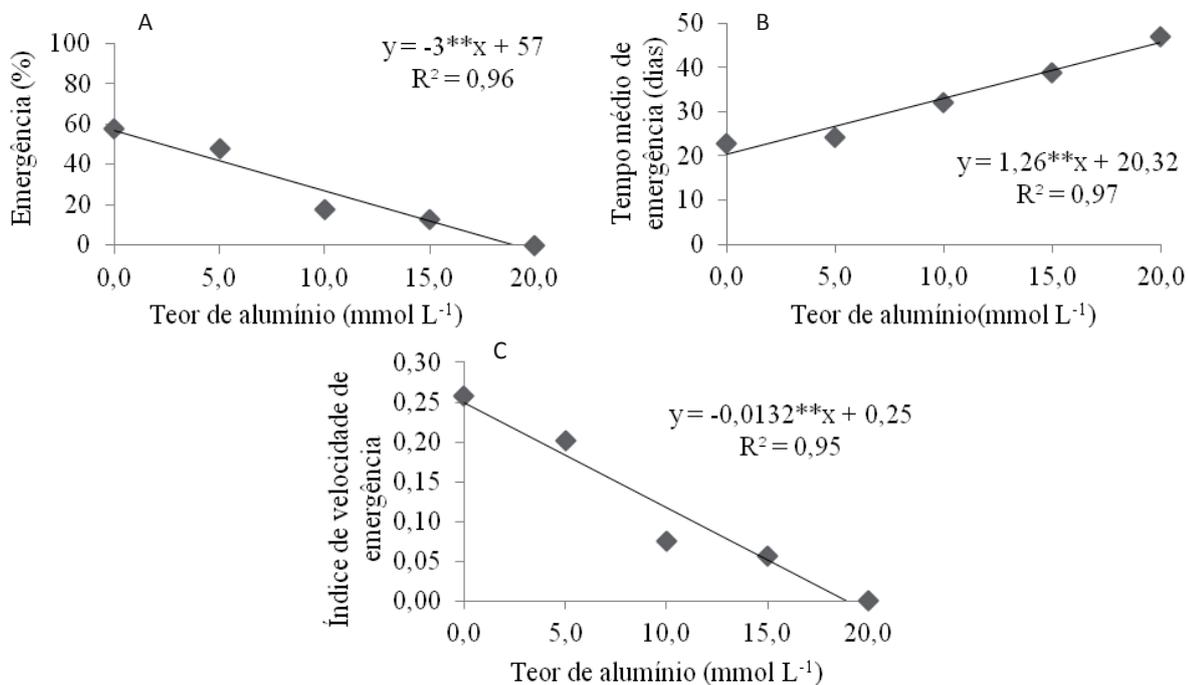
Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado nos dois experimentos, com quatro repetições e 25 sementes em cada parcela. Os dados de porcentagem de emergência, índice de velocidade de emergência, tempo médio de emergência, porcentagem de sobrevivência, índice de clorofila, área foliar, altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes foram submetidos à análise de variância e, em caso de significância, à análise de regressão, ambos a 5% de probabilidade, por meio do programa computacional SISVAR.

Resultados e Discussão

Houve efeito linear da concentração de alumínio sobre a porcentagem, índice de velocidade e tempo médio de emergência de plântulas de pinhão manso. As soluções com concentração de alumínio de 5, 10, 15 e 20 mmol L⁻¹ proporcionaram uma redução na emergência de plântulas de 17, 70, 78

e 98%, respectivamente, quando comparadas com o controle, verificando-se também emergência mais lenta (Figuras 1A e 1C). Observou-se maior tempo para a emergência de plântulas na maior concentração de alumínio testada (20 mmol L⁻¹) (Figura 1B).

Figura 1. Porcentagem de emergência (A), tempo médio de emergência (B) e índice de velocidade de emergência (C) de sementes de pinhão manso irrigadas com solução de alumínio em diferentes concentrações. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F.



Fonte: Elaboração dos autores.

Esses resultados podem ocorrer em função das alterações da membrana celular promovidas pelo alumínio, provocando a exsudação do conteúdo das células (MACEDO et al., 2008). Segundo Marcos Filho (2005), muitos desses constituintes exsudados são essenciais para a germinação; alguns são necessários para a manutenção do potencial osmótico interno, responsável pela normalidade da tomada de água, além de manter o turgor celular necessário para a protrusão da raiz primária e, normalmente, a liberação de exsudados para o

meio externo estimula o desenvolvimento de microrganismos que prejudicam a germinação.

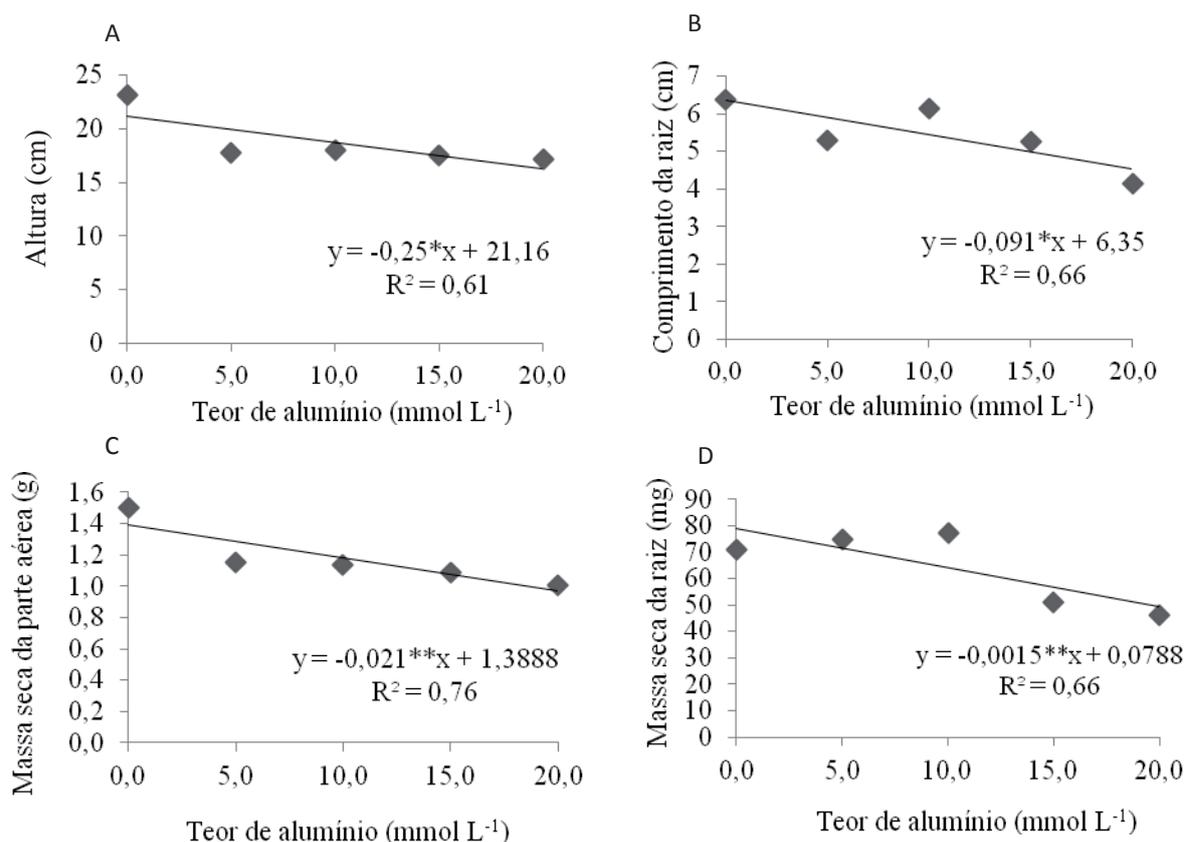
Koszo, Rinaldi e Barbedo (2007), observaram efeitos tóxicos do alumínio em sementes de *Erythrina speciosa* e *Eugenia brasiliensis* embebidas em solução de AlCl₃ a partir do pH 3,5, constatando que esses efeitos do alumínio manifestam-se antes de se iniciar a protrusão da raiz primária. Como no presente estudo, Yamashita e Guimarães (2011) observaram que a germinação e a velocidade de

germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* foram influenciadas pelas concentrações da solução de alumínio. Custódio et al. (2002), por outro lado, não observaram efeito das concentrações de alumínio (0; 0,25; 0,5; 1 e 1,5 mmol_c dm⁻³) na germinação de diferentes cultivares de soja.

A altura, o comprimento das raízes e as massas secas da parte aérea e das raízes de plântulas de pinhão manso foram reduzidos de acordo com o aumento da concentração da solução de alumínio, verificando-se ajuste linear das equações (Figuras 2A, 2B, 2C e 2D) e redução de 26% do comprimento da parte aérea e de 35% do comprimento da raiz, em

relação à testemunha, na concentração de 20 mmol L⁻¹. Lana et al. (2009) também observaram redução da altura de plântulas, comprimento das raízes e massa seca da parte aérea de plântulas de pinhão manso, em função da concentração de alumínio em solução. Em estudo realizado por Macedo et al. (2011) plântulas de pinhão manso cultivadas em solução nutritiva apresentaram redução dos comprimentos da parte aérea e das raízes, observando-se ainda o escurecimento característico da toxidez por alumínio nos pontos de crescimento das raízes.

Figura 2. Altura (A), comprimento das raízes (B), massa seca da parte aérea (C) e massa seca das raízes (D) de plântulas de pinhão manso irrigadas com solução de alumínio em diferentes concentrações. * e ** significativo ao nível de 5% e 1% de probabilidade pelo Teste F, respectivamente.



Fonte: Elaboração dos autores.

A inibição do crescimento das raízes é o sintoma da toxicidade de alumínio mais facilmente reconhecido. Com menos raízes, a planta explora um menor volume de solo, tem dificuldade de absorção de água e nutrientes, comprometimento da formação dos órgãos da parte aérea, principalmente as folhas e redução do crescimento e produtividade (MARIN et al., 2004; LIMA et al., 2007; MACEDO et al., 2008). De acordo com Stefanello et al. (2006), condições estressantes durante a germinação originam plântulas com menor taxa de crescimento em função de apresentarem menor capacidade de transformação do suprimento de reservas dos tecidos de armazenamento e menor incorporação destes pelo eixo embrionário, apresentando menor acúmulo de massa.

Nas plantas de pinhão manso expostas ao alumínio aos 25 DAS observaram-se alguns sintomas de toxidez na parte aérea, como enrolamento dos bordos, clorose, necrose e morte de algumas plantas. Normalmente, plantas intoxicadas pelo alumínio apresentam sintomas de deficiência de nutrientes, tais como fósforo, cálcio, magnésio, potássio e molibdênio, devido a diminuição da capacidade de absorção, transporte e uso destes nutrientes (TABALDI et al., 2007). Peixoto, Pimenta e Cambraia (2007), observaram coloração amarelada nas folhas de plantas de sorgo tratadas com alumínio, além de tonalidades arroxeadas, principalmente nas bainhas e nas margens do limbo, caracterizando sintomas da deficiência de fósforo.

Houve redução linear da sobrevivência, altura, comprimento das raízes e massas secas da parte aérea e das raízes das plantas de pinhão manso com o aumento da concentração das soluções de alumínio (Figuras 3A, 3B, 3C, 3D e 3E). Observou-se, na concentração de 20 mmol L⁻¹, redução de 87 e 90% da altura e comprimento das raízes, respectivamente, em comparação com a ausência de alumínio. Esses resultados reforçam a ideia de que o alumínio interfere com maior intensidade no sistema radicular das plantas, onde acumula-se preferencialmente, sendo parcialmente transportado

para a parte aérea. Esse elemento não só provoca redução no comprimento do sistema radicular como também causa seu engrossamento, diminui sua atividade respiratória total e modifica sua arquitetura, impedindo a ramificação das raízes, que é essencial para o sucesso do desenvolvimento da planta (SIVAGURU et al., 2000; DONCHEVA et al., 2005; KONRAD et al., 2005). Braccini et al. (2000) constataram que a elongação radicular de genótipos de café expostos ao alumínio foi mais afetada do que a produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes. Marin e Santos (2008) e Abichequer, Bohnen e Anghinoni (2003) também observaram efeitos do alumínio no sistema radicular de plantas de guandu e trigo, respectivamente.

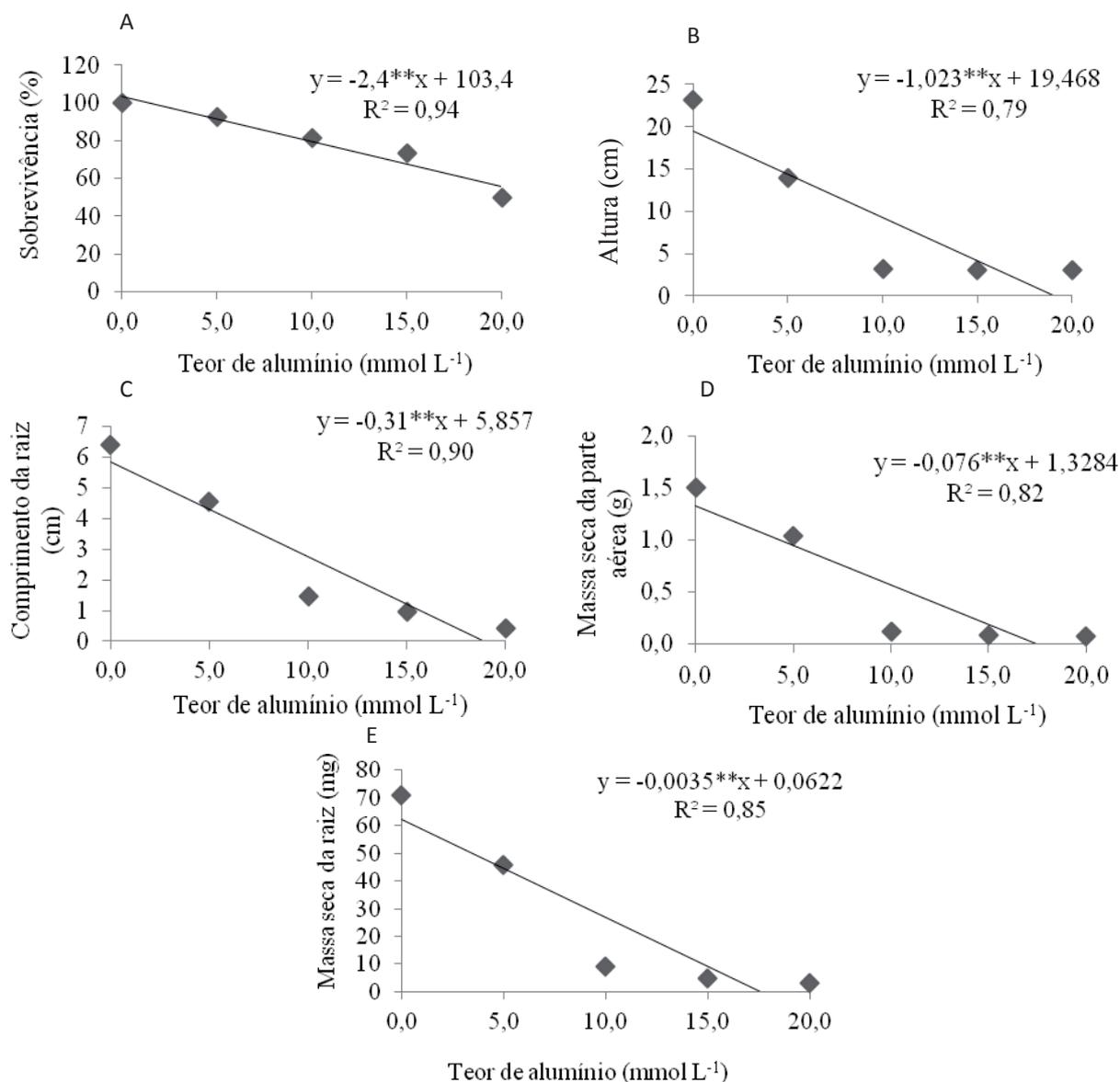
Em virtude do decréscimo do crescimento das raízes e da absorção, transporte e uso de alguns nutrientes, plantas quando expostas a toxidez de alumínio apresentam diminuição da produção de biomassa (TABALDI et al., 2007). Lima et al. (2007), analisando os efeitos do alumínio no desenvolvimento de mudas de mamona na ausência de matéria orgânica, afirmaram que a redução do crescimento foi percebida pelos valores de massa seca das raízes (88%) e massa seca da parte aérea (84%). Já a redução da altura das plantas submetidas a toxidez de alumínio pode ser resultante da diminuição da atividade fotossintética, decorrente de injúrias causadas na formação e na função do cloroplasto, afetando as membranas do tilacóide e o transporte de elétrons e interferindo de forma direta na taxa de assimilação de gás carbônico (KONRAD et al., 2005).

A avaliação das plantas quanto a área foliar e o índice de clorofila só foi possível na concentração de alumínio de 5 mmol L⁻¹, em virtude da necrose e/ou enrolamento dos bordos das plantas remanescentes das outras concentrações. Não houve diferença significativa entre as concentrações de alumínio de 0 e 5 mmol L⁻¹ para a área foliar, enquanto para o índice de clorofila a ausência de alumínio na água de irrigação proporcionou maiores valores (Figuras 4A e 4B). O alumínio ocasiona injúrias na parede celular,

na membrana plasmática, no citoesqueleto e no núcleo celular, prejudicando a divisão e a expansão celular e, conseqüentemente, a expansão das folhas, implicando em folhas de menor área (HARTWIG et al., 2007). Além disso, também provoca dano

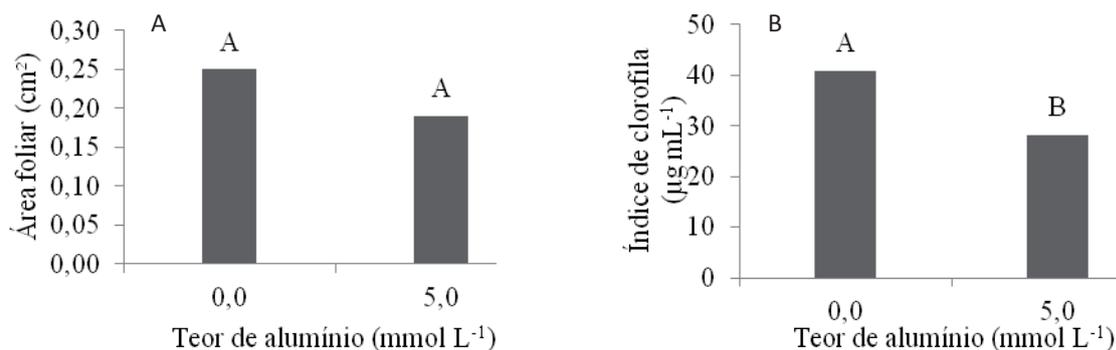
oxidativo pela inibição do ácido aminolevulínico desidratase, importante na biossíntese da clorofila. Dessa forma, a concentração reduzida de clorofila pode refletir os danos induzidos pelo alumínio em folhas verdes (PEREIRA et al., 2006).

Figura 3. Sobrevivência (A), altura (B), comprimento das raízes (C), massa seca da parte aérea (D) e massa seca das raízes (E) de mudas de pinhão manso irrigadas com água até os 25 dias após a semeadura e posteriormente com solução de alumínio em diferentes concentrações. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste F.



Fonte: Elaboração dos autores.

Figura 4. Área foliar (A) e índice de clorofila (B) de mudas de pinhão manso irrigadas com água até os 25 dias após a semeadura e posteriormente com solução de alumínio em diferentes concentrações. Médias seguidas por uma mesma letra não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.



Fonte: Elaboração dos autores.

Conclusões

O alumínio prejudica a germinação de sementes com efeitos drásticos a partir de 10 mmol L⁻¹.

O efeito tóxico do alumínio no crescimento inicial das plantas de pinhão manso é percebido a partir da concentração de 5 mmol L⁻¹.

Referências

ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H.; ANGHINONI, I. Absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo submetidas à toxidez de alumínio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 27, n. 2, p. 373-378, 2003. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/0D/rbcs/v27n2/16238.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2011.

ANDRÉO-SOUZA, Y.; PEREIRA, A. L.; SILVA, F. F. S. da; RIBEIRO-REIS, R. C.; EVANGELISTA, M. R. V.; CASTRO, R. D.; DANTAS, B. F. Efeito da salinidade na germinação de sementes e no crescimento inicial de mudas de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 32, n. 2, p. 83-92, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v32n2/v32n2a10.pdf>>. Acesso em: 29 nov. 2011.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004. Disponível em: <[http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/20_rbof,8\(1\),789-799,2004.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/20_rbof,8(1),789-799,2004.pdf)>. Acesso em: 29 nov. 2011.

BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; SILVA, E. A. M.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxilina como critérios de avaliação de genótipos de café quanto à tolerância à toxidez de alumínio. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 59-68, 2000. Disponível em: <<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ForazarDescargaArchivo.jsp?cvRev=1802&cvArt=180218272009&nombre=CRESCIMENTO%20DA%20PLANTA%20E%20COLORA%C7%C3O%20DAS%20RA%CDZES%20COM%20HEMATOXILINA%20COMO%20CRIT%C9RIOS%20DE%20AVALIA%C7%C3O%20DE%20GEN%D3TIPOS%20DE%20CAF%C9%20QUANTO%20%C0%20TOLER%C2NCIA%20%C0%20TOXIDEZ%20DE%20ALUM%CDNIO>>. Acesso em: 19 dez. 2011.

CUSTÓDIO, C. C.; BOMFIM, D. C.; SATURNINO, S. M.; MACHADO NETO, N. B. Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 1, p. 145-153, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/as/v59n1/8087.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2010.

DONCHEVA, S.; AMENÓS, M.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Root cell patterning: a primary target for aluminium toxicity in maize. *Journal of Experimental Botany*, Oxford, v. 56, n. 414, p. 1213-1220, 2005. Disponível em: <<http://jxb.oxfordjournals.org/content/56/414/1213.full>>. Acesso em: 17 fev. 2011.

ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/Cr/v31n3/a30v31n3.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2011.

- EDMOND, J. B.; DRAPALLA, W. J. The effects of temperature, sand and soil, and acetone on germination on okra seeds. *Proceedings of the American Society Horticultural Science*, Itahaca, v. 71, p. 428-434, 1958.
- HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C.; CARVALHO, F. I. F.; BERTAN, I.; SILVA, J. A. G. da; SCHIMDT, D. A. M.; VALÉRIO, I. P.; MARIA, L. C.; FONSECA, D. A. R.; REIS, C. E. S. dos. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007. Disponível em: <<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semagrarias/article/view/3431/2790>>. Acesso em: 12 dez. 2011.
- KONRAD, M. L. F.; SILVA, J. A. B.; FURLANI, P. R.; MACHADO, E. C. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em seis cultivares de caféiro sob estresse de alumínio. *Bragantia*, Campinas, v. 64, n. 3, p. 339-347, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v64n3/26427.pdf>>. Acesso em: 12 maio 2011.
- KOSZO, C. R. R.; RINALDI, M. C. S.; BARBEDO, C. J. Germinação de sementes de *Erythrina speciosa* Andr., *Eugenia brasiliensis* Lam. e *Cucumis sativus* L. em meio ácido. *Hoehnea*, v. 34, n. 3, p. 271-282, 2007. Disponível em: <http://www.biota.org.br/publi/banco/docs/15477_1220022294.pdf>. Acesso em: 22 set. 2011.
- LANA, M. C.; STEINER, F.; FEY, R.; FRANDOLOSO, J. F.; ZOZ, T. Tolerância de plântulas de pinhão-manso a toxicidade de alumínio em solução nutritiva. I: desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. *Synergismus Scientifica*, América do Norte, v. 4, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/547/302>>. Acesso em: 23 set. 2011.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L. S.; FERREIRA, G. B.; SILVA, M. I. L. da; ALBUQUERQUE, R. C.; BELTRÃO, N. E. M. Crescimento da mamoneira em solo com alto teor de alumínio na presença e ausência de matéria orgânica. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, Campina Grande, v. 11, n. 1, p. 15-21, 2007. Disponível em: <[http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/1112007002_rbof,11\(1\),15-21,2007.pdf](http://www.cnpa.embrapa.br/rbof/artigos/1112007002_rbof,11(1),15-21,2007.pdf)>. Acesso em: 05 jul. 2010.
- MACEDO, C. M. P.; LOPES, J. C.; AMARAL, J. A. T.; FONSECA, A. F. A. Germinação e vigor de sementes de café submetidas ao estresse com alumínio. *Scientia Agrária*, Curitiba, v. 9, n. 2, p. 235-239, 2008. Disponível em: <<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2902752>>. Acesso em: 03 jul. 2010.
- 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. Disponível em: <www.uel.br/revistas/UEL/index.php/semagrarias/article/download/.../7126>. Acesso em: 23 set. 2011.
- MAGUIRE, J. B. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence vigor. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 2, p. 176-177, 1962.
- MARCOS FILHO, J. *Fisiologia de sementes de plantas cultivadas*. Piracicaba: FEALQ, 2005. 495 p.
- MARIN, A.; SANTOS, D. M. M. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 10, p. 1267-1275, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pab/v43n10/03.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2010.
- MARIN, A.; SANTOS, D. M. M.; BANZATTO, D. A.; FERRAUDO, A. S. Germinação de sementes de guandu sob efeito da disponibilidade hídrica e de doses subletais de alumínio. *Bragantia*, Campinas, v. 3, n. 1, p. 13-24, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/brag/v63n1/a02v63n1.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2010.
- MARTINS, L. D.; TOMAZ, M. A.; AMARAL, J. F. T.; LAVIOLA, B. G.; BOCARTE, M. Desenvolvimento inicial de mamona e pinhão-manso em solo submetido a diferentes corretivos e doses de fósforo. *Revista Verde*, Mossoró, v. 5, n. 1, p. 143-150, 2010. Disponível em: <<http://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/254/254>>. Acesso em: 23 set. 2011.
- MAZZOCATO, A. C.; ROCHA, P. S. G.; SERENO, M. J. C. M.; BOHNEN, H.; GRONGO, V.; BARBOSA NETO, J. F. Tolerância ao alumínio em plântulas de milho. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/Cr/v32n1/a04v32n1.pdf>>. Acesso em: 19 ago. 2011.
- NERY, A. R.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, M. B. R.; FERNANDES, P. D.; CHAVES, L. H. G.; DANTAS NETO, J.; GHEYI, H. R. Crescimento do pinhão-manso irrigado com águas salinas em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 551-558, 2009. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n5/v13n05a07.pdf>>. Acesso em: 03 jul. 2010.
- PEIXOTO, P. H. P.; PIMENTA, D. S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. *Bragantia*, Campinas, v. 66, n. 1, p. 17-25, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v66n1/03.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

- PEREIRA, L. B.; TABALDI, L. A.; GONÇALVES, J. F.; JUCOSKI, J. O.; PAULETTO, M. M.; WEIS, S. N.; NICOLOSO, F. T.; BORHER, D.; ROCHA, J. B. T.; SCHETINGER, M. R. C. Effect of aluminum on daminolevulinic acid dehydratase (ALA-D) and the development of cucumber (*Cucumis sativus*). *Environmental and Experimental Botany*, v. 57, p. 106-115, 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science?_ob=MIimg&_imagekey=B6T66-4GMGWCW-1-T&_cdi=5022&_user=7645718&_pii=S0098847205000717&_origin=&_coverDate=08%2F31%2F2006&_sk=999429998&view=c&wchp=dGLzVlz-zSkzk&md5=c9cb012f3661ed5865443f0141c06674&ie=/sdarticle.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2011.
- SCHLINDWEIN, J. A.; NOLLA, A.; ANGHINONI, I.; MEURER, E. J. Redução da toxidez de alumínio em raízes de soja por culturas antecessoras no sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agrociência*, Jaboticabal, v. 9, n. 1, p. 85-88, 2003. Disponível em: <<http://www.ufpel.tche.br/faem/agrociencia/v9n1/artigo16.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2011.
- SIVAGURU, M.; FUJIWARA, T.; SAMAJ, J.; BALUSKA, F.; YANG, Z.; OSAWA, H.; MAEDA, T.; MORI, T.; VOLKMANN, D.; MATSUMOTO, H. Aluminum-Induced 133-b-D-Glucan Inhibits Cell-to-Cell Trafficking of Molecules through Plasmodesmata. A New Mechanism of Aluminum Toxicity in Plants. *Plant Physiology*, Palo Alto, v. 124, n. 3, p. 991-1005, 2000. Disponível em: <<http://www.plantphysiol.org/content/124/3/991.full>>. Acesso em: 17 fev. 2011.
- STEFANELLO, R.; GARCIA, D. C.; MENEZES, N. L. de; MUNIZ, M. F. B.; WRASSE, C. F. Efeito da luz, temperatura e estresse hídrico no potencial fisiológico de sementes de funcho. *Revista Brasileira de Sementes*, Brasília, v. 28, n. 2, p. 135-141, 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbs/v28n2/a18v28n2.pdf>>. Acesso em: 13 ago. 2011.
- TABALDI, L. A.; NICOLOSO, F. T.; CASTRO, G. Y.; CARNEGLUTTI, D.; GONÇALVES, J. F.; RAUBER, R.; SKREBSKY, E. C.; SCHETINGER, M. R. C.; MORSCH, V. M.; BISOGNIN, D. A. Physiological and oxidative stress responses of four potato clones to aluminum in nutrient solution. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, Londrina, v. 19, n. 3, p. 211-222, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/bjpp/v19n3/v19n3a05.pdf>>. Acesso em: 12 fev. 2011.
- YAMASHITA, O. M.; GUIMARÃES S. C. Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 4, p. 599-601, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/Cr/v41n4/a908cr4089.pdf>>. Acesso em: 23 jul. 2011.