

Efeitos do Alumínio no Desenvolvimento de Mudras de Cajueiro



***Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Agroindústria Tropical
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento***

**BOLETIM DE PESQUISA
E DESENVOLVIMENTO
178**

**Efeitos do Alumínio no Desenvolvimento
de Mudanças de Cajueiro**

Carlos Alberto Kenji Taniguchi
Luiz Augusto Lopes Serrano
Luis Felipe Rodrigues de Aquino Sousa
Juliana Costa do Nascimento

***Embrapa Agroindústria Tropical
Fortaleza, CE
2018***

Unidade responsável pelo conteúdo e edição:

Embrapa Agroindústria Tropical
Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (85) 3391-7100
Fax: (85) 3391-7109
www.embrapa.br/agroindustria-tropical
www.embrapa.br/fale-conosco

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Agroindústria Tropical

Presidente
Gustavo Adolfo Saavedra Pinto

Secretária-executiva
Celli Rodrigues Muniz

Secretária-administrativa
Eveline de Castro Menezes

Membros
*Marlos Alves Bezerra, Ana Cristina Portugal
Pinto de Carvalho, Deborah dos Santos Garruti,
Dheyne Silva Melo, Ana Iraidy Santa Brigida,
Eliana Sousa Ximendes*

Supervisão editorial
Ana Elisa Galvão Sidrim

Revisão de texto
José Cesamildo Cruz Magalhães

Normalização bibliográfica
Rita de Cassia Costa Cid

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Ariilo Nobre de Oliveira

Foto da capa
Carlos Alberto Kenji Taniguchi

1ª edição
On-line (2018)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Agroindústria Tropical

Efeitos do alumínio no desenvolvimento de mudas de cajueiro / Carlos Alberto Kenji
Taniguchi... [et al.]. -- Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2018.

20 p. : il. ; 16 cm x 22 cm – (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa
Agroindústria Tropical, ISSN 1679-6543; 178).

Publicação disponibilizada on-line no formato PDF.

1. *Anacardium occidentale* L.. 2. Porta-enxerto. 3. Morfologia de raízes. I. Taniguchi,
Carlos Alberto Kenji. II. Serrano, Luiz Augusto Lopes. III. Sousa, Luis Felipe Rodrigues de
Aquino. IV. Nascimento, Juliana Costa do. V. Série.

CDD 631.8

Sumário

Resumo	4
Abstract	6
Introdução.....	7
Material e Métodos	8
Resultados e Discussão	11
Conclusão.....	17
Referências	17

Efeitos do Alumínio no Desenvolvimento de Mudanças de Cajueiro

Carlos Alberto Kenji Taniguchi¹

Luiz Augusto Lopes Serrano²

Luis Felipe Rodrigues de Aquino Sousa³

Juliana Costa do Nascimento⁴

Resumo - O alumínio trocável (Al^{3+}) está presente na maior parte dos solos brasileiros e, quando em alta disponibilidade, afeta o desenvolvimento das plantas e limita a produção agrícola. Por isso, objetivou-se avaliar os efeitos do alumínio no desenvolvimento de mudas de cajueiro. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas e dez repetições, em que os genótipos 'CCP 06', 'BRS 274' e 'BRS 275' foram considerados como os tratamentos principais e as doses de alumínio (0; 10; 20; 30 e 40 mg L⁻¹) como subparcelas. As sementes de cajueiro foram colocadas em tubetes de 288 mL preenchidos com areia lavada e, após 45 dias da semeadura, iniciou-se a aplicação da solução nutritiva e das doses de alumínio. Sessenta dias após o início da aplicação das doses de alumínio (105 dias após a semeadura), as plantas foram avaliadas quanto à altura, ao número de folhas, ao diâmetro do caule, ao desenvolvimento de raízes (comprimento total, volume e área superficial) e à massa de matéria seca da parte aérea e das raízes. O genótipo 'BRS 274' apresentou baixa germinação e plantas desuniformes, por isso foram desconsideradas do experimento. As doses de alumínio não resultaram em manifestação de sintomas de toxicidade do elemento na parte aérea dos genótipos de cajueiro 'CCP 06' e 'BRS 275', nem em alterações na altura,

¹ Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

² Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE

³ Engenheiro-agrônomo, mestre em Ciência do Solo, doutorando da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

⁴ Engenheira-agrônoma, mestranda da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, SP

número de folhas, diâmetro do caule, produção de massa de matéria seca de parte aérea e raízes e relação parte aérea:raízes. Apesar da ausência de efeitos do alumínio na produção de massa de matéria seca de raízes, houve interação entre os fatores na morfologia das raízes de cajueiro. O aumento das doses de alumínio promoveu diminuição linear no comprimento total, no volume e na área superficial das raízes do genótipo 'CCP 06'. Conclui-se que o alumínio afeta o desenvolvimento de raízes do genótipo de cajueiro-anão 'CCP 06'.

Termos para indexação: *Anacardium occidentale* L., porta-enxerto, morfologia de raízes.

Effects of Aluminum on the Development of Cashew Seedlings

Abstract - Exchangeable aluminum (Al^{3+}) is present in most Brazilian soils and when in high availability, it affects the development of plants and it limits agricultural production. Therefore, the objective was to evaluate the effects of aluminum on the development of cashew seedlings. The experiment was carried in a completely randomized design in a split-plots scheme and ten replicates, with the genotypes 'CCP 06', 'BRS 274' and 'BRS 275' as the main treatments and the aluminum rates (0; 10; 20; 30 and 40 mg L⁻¹) as subplots. Cashew seeds were placed in 288 mL tubes filled with washed sand and 45 days after sowing, the nutrient solution and the aluminum rates were applied. Sixty days after the beginning of aluminum rates application, plants were evaluated for height, leaf number, stem diameter, root development (total length, volume and surface area) and shoots and roots dry matter. The genotype 'BRS 274' presented low germination and not uniform plants, therefore they were disregarded from the experiment. Aluminum rates did not result in symptoms of toxicity of the element in the 'CCP 06' and 'BRS 275' shoots cashew genotypes nor in changes in height, leaf number, stem diameter, shoots and roots dry matter and shoots:roots ratio. Despite the absence of effects of aluminum on the production of roots dry matter, there was interaction between the factors in the cashew roots morphology. The increase of aluminum rates promoted a linear decrease in the length, volume and surface area of the genotype 'CCP 06' roots. It was concluded that aluminum affects the development of the 'CCP 06' cashew genotype roots.

Index terms: *Anacardium occidentale* L., rootstock, roots morphology.

Introdução

A cajucultura desempenha papel importante na economia da região Nordeste do Brasil devido à geração de empregos e de renda nos setores de produção, de industrialização e de comercialização. Dos 619.196 hectares cultivados com cajueiro, os estados do Ceará, Piauí e Rio Grande do Norte respondem por 92,5% da área plantada (IBGE, 2016).

Nessas regiões, predomina o cultivo do cajueiro em Latossolos, Argissolos e Neossolos que, de modo geral, apresentam reação ácida (pH 4,3 a 5,3) e altos teores de alumínio trocável (Ramos et al., 1997). Em estudo feito por Lima et al. (1999), indicou-se que as regiões mais representativas de cultivo de cajueiro no estado Piauí apresentaram teores de alumínio trocável (Al^{3+}) e saturação por alumínio na camada superficial variando 1 a 29 $mmol_c kg^{-1}$ e 9 a 80%, respectivamente. Segundo esses autores, a elevada saturação por alumínio, associada à baixa disponibilidade de cálcio e de magnésio nesses solos, limitam o desenvolvimento não somente do cajueiro, mas da maioria das plantas cultivadas.

O alumínio é um dos elementos químicos mais abundantes na Terra, sendo constituinte de minerais secundários presentes em solos brasileiros, como a caulinita e a gibbsita. Em condições de elevada acidez, esses minerais são mais rapidamente degradados, aumentando a concentração de Al^{3+} nos solos (Raij, 2011). Nessa situação, em questão de poucos minutos de exposição ao elemento, as plantas já têm o crescimento das raízes restringido, enquanto que a inibição da divisão celular requer de 6 a 24 horas para ocorrer. Essa exposição leva ao atrofiamento das raízes primárias e à inibição da formação das raízes laterais, e, como reflexo, diminui a absorção de água e de nutrientes (Samac; Tesfaye, 2003). Assim, a baixa resposta das plantas às adubações pode ser atribuída, em parte, aos danos causados no sistema radicular, modificando os padrões de absorção e o metabolismo de nutrientes (Salvador et al., 2000).

Para atenuar os efeitos dos altos teores de Al^{3+} nos solos, duas opções podem ser adotadas: a neutralização do alumínio trocável por meio da calagem e/ou a utilização de cultivares tolerantes. A calagem é uma prática que promove outros benefícios além da neutralização do Al^{3+} , dentre eles o aumento do pH e da disponibilidade de Ca e de Mg. Esses efeitos ficam, no

entanto, restritos à camada de incorporação do calcário no solo. Assim, a baixa disponibilidade de nutrientes e a acidez nas camadas não corrigidas em subsuperfície podem afetar o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, limitar a produção agrícola. Nessas condições, a utilização de genótipos que apresentam tolerância ao Al^{3+} pode ser uma alternativa viável.

Os programas de melhoramento genético utilizam várias técnicas para a seleção de genótipos tolerantes ao Al^{3+} , por meio de estudos em laboratório, casa de vegetação e no campo (Villa et al., 2009). Essas técnicas permitem a avaliação de um grande número de genótipos simultaneamente e são utilizados com mais frequência para seleção de espécies anuais tolerantes ao Al^{3+} , como a alfafa (Narasimhamoorthy et al., 2007), feijão-de-porco (Choudhary et al., 2011), sorgo (Tan et al., 1993), arroz (Sivaguru et al., 1992), soja (Menosso et al., 2000; Spehar; Souza, 2006) e milho (Paterniani; Furlani, 2002). Para as espécies perenes, alguns estudos de seleção de genótipos com tolerância ao alumínio já foram realizados, como em oliveira (Setotaw et al., 2015), cafeeiro (Braccini et al., 1998), macieira (Dantas et al., 2001), videira (Villa et al., 2009) e citros (Lin; Myhre, 1991; Pereira et al., 2003), mas para cajueiros esses estudos são inexistentes.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito do alumínio no desenvolvimento de mudas de cajueiro.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido no telado da Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza/CE. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema de parcelas subdivididas e dez repetições. Os genótipos 'CCP 06', 'BRS 274' e 'BRS 275', dos tipos anão, comum e híbrido, respectivamente, constituíram os tratamentos principais e as doses de alumínio (0; 10; 20; 30 e 40 mg L⁻¹) as subparcelas.

O substrato utilizado para a produção das mudas de cajueiro foi a areia lavada. A areia foi imersa em solução 10% de HCl v:v por cerca de 24 horas, seguida de enxague com água de torneira até a obtenção do pH da mistura água e areia próximo à neutralidade. Em seguida, a areia foi seca e os tubetes com capacidade para 288 mL foram preenchidos.

A sementeira foi feita adicionando-se uma semente por tubete e, em seguida, foi colocada uma camada de areia lavada. Em virtude da baixa germinação das sementes, as plantas do genótipo 'BRS 274' foram eliminadas do experimento. Da sementeira até 40 dias do plantio, a irrigação foi feita com água de torneira. A partir dessa época até o final do experimento, toda a água utilizada foi destilada e deionizada.

As doses de alumínio, nas concentrações de 0; 10; 20; 30 e 40 mg/L, foram preparadas utilizando-se $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ PA. A solução nutritiva foi elaborada de acordo com Simon et al. (1994), que corresponde à aplicação de 10% e 100% das concentrações de macro e de micronutrientes, respectivamente, da solução de Hoagland e Arnon: KNO_3 (0,5 mM); $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,5 mM); $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,2 mM); KH_2PO_4 (0,1 mM); KCl (50 μM); H_3BO_3 (46 μM); Fe-EDTA (20 μM); $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (2 μM); $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (1 μM); $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,3 μM) e $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (0,5 μM). A aplicação das soluções (nutritiva e de alumínio) teve início 45 dias após a sementeira (Figura 1). Com o aparecimento de sintomas de deficiência de nitrogênio, passou-se a utilizar solução nutritiva a 100% da concentração de macronutrientes até o fim do experimento.

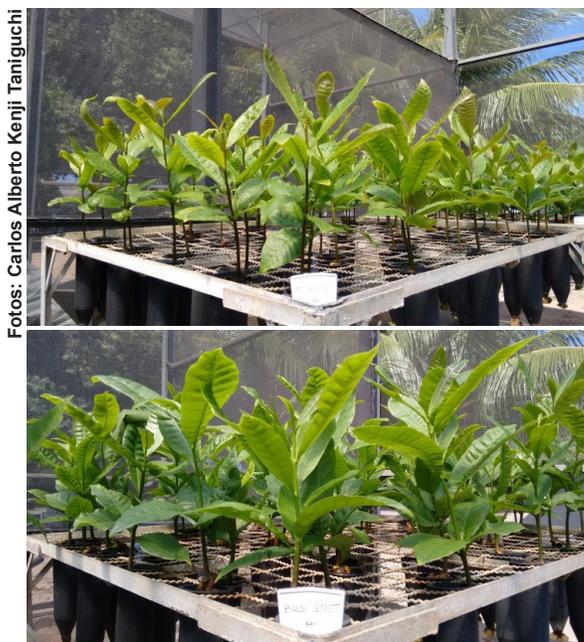


Figura 1. Mudanças de cajueiro 'CCP 06' acima e de 'BRS 275' abaixo, 45 dias após a sementeira.

Tanto a água quanto as soluções (nutritiva e as doses de alumínio) foram aplicadas em quantidades suficientes para saturação da areia lavada e drenagem do excesso. Foram tomados cuidados para que o pH da água e das soluções fosse mantido a aproximadamente 4,5 por meio da adição de HCl 1 M, para evitar a precipitação do alumínio.

Para a aplicação dos tratamentos, adotou-se o seguinte procedimento: pela manhã, foi adicionada água para a eliminação do excesso de alumínio do dia anterior, seguida da aplicação da solução nutritiva. No período da tarde, foi feita a adição de água para a retirada do excesso de solução nutritiva aplicada na manhã, seguida da aplicação das doses de alumínio. As aplicações isoladas das soluções evitam possíveis interações entre Mg e Al na solução nutritiva (Villagarcia et al., 2001).

Sessenta dias após o início da aplicação das doses de alumínio (105 dias após a semeadura), as plantas foram avaliadas quanto à altura, ao número de folhas, ao diâmetro do caule, ao desenvolvimento de raízes (comprimento total, volume e área superficial) e à massa de matéria seca de parte aérea e raízes.

A mensuração da altura das plantas foi realizada com auxílio de trena, da superfície do substrato até a gema apical. O número de folhas foi determinado por meio de contagem de todas as folhas na planta. O diâmetro foi determinado com auxílio de paquímetro digital, a cerca de 5 cm da superfície do substrato. Em seguida, as plantas foram cortadas rente ao substrato e separadas em parte aérea e raízes.

Para avaliar o desenvolvimento das raízes, foram obtidas imagens digitalizadas por meio escâner de mesa. Em seguida, as imagens digitais foram submetidas ao software Safira (Jorge; Rodrigues, 2008) e obtidos os seguintes parâmetros: comprimento total (mm), volume (mm³) e área superficial de raízes (mm²).

Posteriormente, a parte aérea e as raízes foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C, até peso constante com o objetivo de se obter a massa de matéria seca de parte aérea e de raízes.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e, em caso de significância, os genótipos foram comparados por meio de teste de Tukey a 5% de probabilidade e os efeitos das doses de alumínio por meio de análise de regressão (SAS, 2012).

Resultados e Discussão

A aplicação de alumínio por 60 dias não resultou em manifestação de sintomas de toxicidade do elemento na parte aérea dos genótipos de cajueiro ‘CCP 06’ e ‘BRS 275’, nem em alterações na altura, no número de folhas, no diâmetro do caule, na produção de massa de matéria seca de parte aérea e raízes, bem como da relação parte aérea:raízes (Tabelas 1 e 2 e Figuras 2 e 3).

Diferenças foram encontradas somente entre os genótipos de cajueiro, sendo que o ‘CCP 06’ apresentou maior altura de planta, número de folhas, produção de massa de matéria seca de parte aérea e relação parte aérea:raízes do que o ‘BRS 275’. Não foram verificadas interações entre os genótipos e as doses de alumínio no desenvolvimento dos genótipos de cajueiro.

Tabela 1. Altura, número de folhas e diâmetro de caule de dois genótipos de cajueiro, após 60 dias de aplicação do alumínio.

		Altura cm	Número de folhas	Diâmetro do caule mm
Genótipos	‘CCP 06’	34,8 a ¹	12,0 a	7,6
	‘BRS 275’	29,3 b	7,8 b	7,6
Doses de Al	0 mg/L	30,3	10,7	7,7
	10	34,0	9,1	7,4
	20	32,2	9,4	7,8
	30	31,3	9,1	7,5
	40	32,6	11,1	7,5
Teste F ²				
Genótipos (G)		19,121**	31,473**	0,004 ^{ns}
Doses de Al (D)		2,248 ^{ns}	1,154 ^{ns}	0,505 ^{ns}
G x D		1,543 ^{ns}	0,159 ^{ns}	0,407 ^{ns}
CV % _{Genótipos}		6,97	14,48	6,13
CV % _{Doses de Al}		4,72	15,74	4,50

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{2 ns} e **: Não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

A ausência de efeitos das doses de alumínio na produção de massa de matéria seca de parte aérea e de raízes das mudas de cajueiro pode ser atribuída, em parte, ao curto tempo de exposição das plantas ao elemento. Kumar (1981) verificou diminuição da massa de matéria seca de parte aérea de mudas de cajueiro comum após a aplicação de alumínio por 130 dias. Para outras perenes, como porta-enxertos de citros, a exposição ao alumínio por 60 a 70 dias já foi suficiente para promover diminuição na produção de massa de matéria seca de parte aérea (Lin & Myhre, 1991; Pereira et al., 2003).

Por outro lado, a ausência de efeitos das doses de alumínio pode ser justificada pelo fato de que a manifestação nessa parte da planta ocorre apenas após as alterações nas raízes. Além disso, os sintomas de toxicidade de alumínio nas folhas não são facilmente identificáveis, pois se assemelham aos da deficiência de fósforo e, em alguns casos, a toxicidade aparece como

Tabela 2. Produção de massa de matéria seca de parte aérea e raízes e relação parte aérea:raízes de dois genótipos de cajueiro, após 60 dias de aplicação do alumínio.

		Massa de matéria seca		Relação parte aérea:raízes
		Parte aérea	Raízes	
		-----g por planta-----		
Genótipos	'CCP 06'	7,68 a ¹	1,72	4,46 a
	'BRS 275'	4,94 b	1,77	2,79 b
Doses de Al	0 mg/L	6,58	1,89	3,48
	10	6,10	1,53	3,98
	20	6,58	1,87	3,51
	30	5,67	1,54	3,68
	40	6,59	1,88	3,50
		Teste F ²		
Genótipos (G)		32,422**	0,014 ^{ns}	42,181**
Doses de Al (D)		1,001 ^{ns}	2,001 ^{ns}	0,670 ^{ns}
G x D		0,767 ^{ns}	2,200 ^{ns}	1,402 ^{ns}
CV %	Genótipos	13,90	19,64	12,20
CV %	Doses de Al	11,79	12,79	9,46

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² ^{ns} e **: Não significativo e significativo a 1% de probabilidade, respectivamente.

uma deficiência induzida de cálcio (Rout et al., 2001). Com exceção da deficiência de nitrogênio observada nos primeiros dias do experimento e logo corrigida com o aumento da concentração de nutrientes na solução nutritiva, não foram verificados outros sintomas de deficiências de nutrientes.

Os sintomas de toxicidade de Al^{3+} em cafeeiros são caracterizados pelo encurtamento dos internódios, resultando em menor altura, redução no tamanho das folhas e leve clorose (Braccini et al., 1998). Já em goiabeiras, os sintomas visuais de fitotoxicidade de Al^{3+} são caracterizados pela menor altura das plantas, ausência de ramificação, menor diâmetro do caule e raízes mais escuras; as folhas apresentaram dimensões menores e pecíolos avermelhados (Salvador et al., 2000).



Figura 2. Desenvolvimento de mudas de cajueiro 'CCP 06' acima e de 'BRS 275' abaixo, 60 dias após o início da aplicação de doses de alumínio (em mg/L).

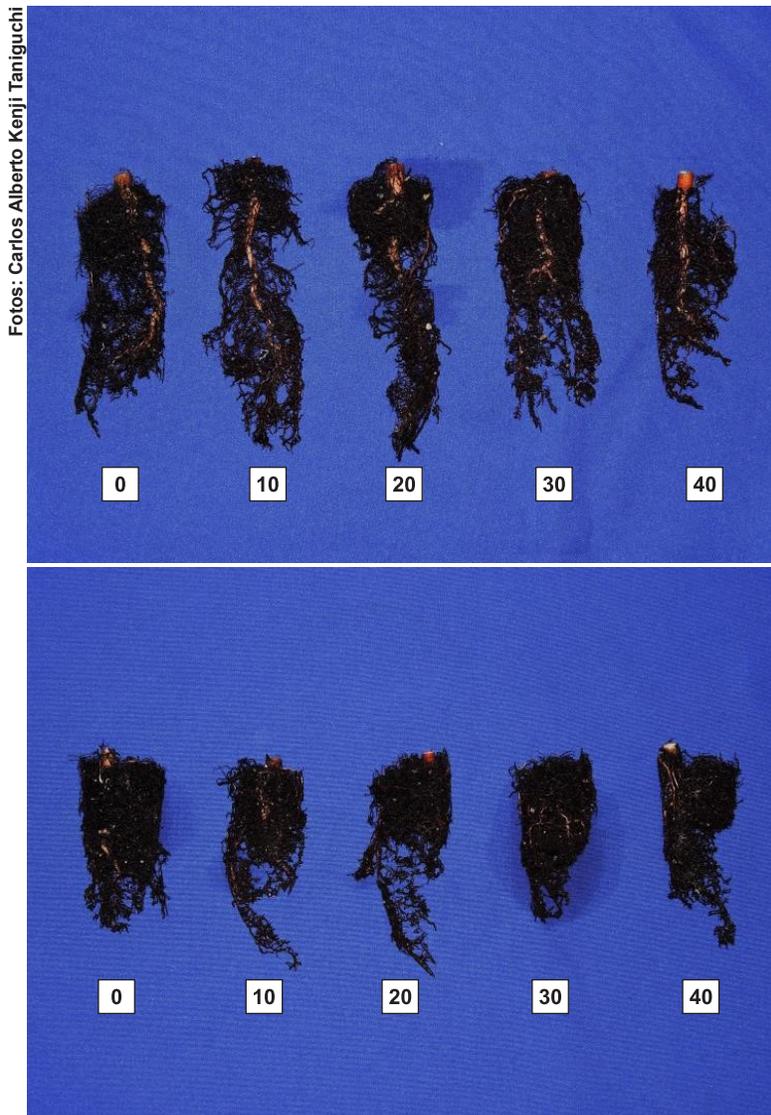


Figura 3. Desenvolvimento de raízes de cajueiro 'CCP 06' acima e de 'BRS 275' abaixo, em função da aplicação de doses de alumínio (em mg/L).

O principal sintoma de toxicidade de Al^{3+} nas plantas é a rápida inibição do crescimento radicular, que pode acontecer já nos primeiros minutos de exposição ao elemento, resultando em um sistema radicular reduzido e

danificado e absorção limitada de água e nutrientes. A rapidez desta resposta indica que o Al^{3+} inibe primeiramente a expansão das células das raízes e alongamento; entretanto, em longo prazo, a divisão celular também é inibida (Kochian et al., 2004).

Apesar da ausência de efeitos do alumínio na produção de massa de matéria seca de raízes, houve interação dos fatores genótipos e doses de alumínio na morfologia das raízes de cajueiro (Tabela 3). O aumento das doses de alumínio promoveu diminuição linear no comprimento, no volume e na área superficial das raízes do genótipo 'CCP 06' (Figuras 4 e 5). Kumar (1981) constatou diminuição de densidade, alongação e produção de massa de matéria seca de raízes de cajueiro comum a partir da dose de 12 mg L^{-1} de Al. Concentrações de Al superiores a $308 \text{ } \mu\text{M}$ (equivalente a $8,3 \text{ mg/L}$ de Al) promoveram o atraso no desenvolvimento das raízes de cinco porta-enxertos de citros, com pouco crescimento de raízes laterais, aparecimento de raízes fibrosas e engrossamento da ponta (Lin; Myhre, 1991).

Tabela 3. Comprimento total, volume e área superficial de raízes de dois genótipos de cajueiro, após 60 dias de aplicação do alumínio.

		Comprimento mm	Volume mm^3	Área superficial mm^2
Genótipos	'CCP 06'	15.852 b ¹	2.806 b	17.888 b
	'BRS 275'	22.505 a	3.818 a	26.270 a
Doses de Al	0 mg/L	26.543	4.285	29.971
	10	16.485	3.287	19.661
	20	18.816	3.099	21.210
	30	15.779	2.773	18.352
	40	18.270	3.116	21.201
Teste F ²				
Genótipos (G)		14,443**	8,408*	14,944**
Doses de Al (D)		4,710**	2,878*	4,017**
G x D		5,116**	7,869**	6,760**
CV % _{Genótipos}		16,59	19,81	17,95
CV % _{Doses de Al}		15,86	16,62	16,18

¹ Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si por meio de Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

² ** e *: Significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente.

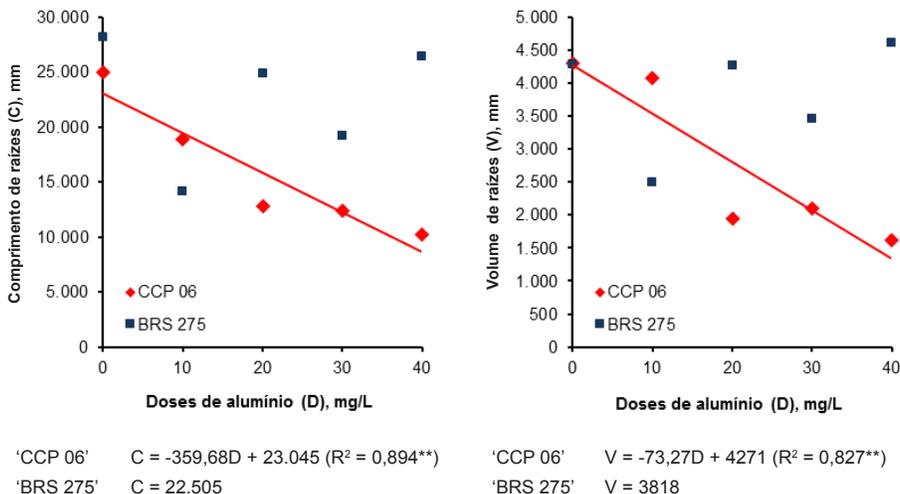


Figura 4. Comprimento total e volume de raízes de dois genótipos de cajueiro em função da aplicação de doses de alumínio.

** : Significativo a 1% de probabilidade.

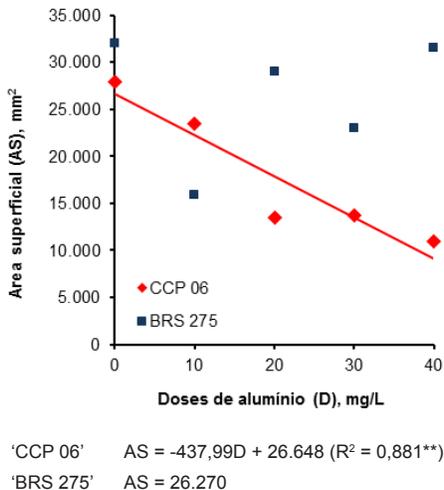


Figura 5. Área superficial de raízes de dois genótipos de cajueiro em função da aplicação de doses de alumínio.

** : Significativo a 1% de probabilidade.

Conclusão

O alumínio afeta o desenvolvimento de raízes do genótipo de cajueiro-anão 'CCP 06'. Considerando que esse genótipo é mais utilizado como porta-enxerto de mudas enxertadas de cajueiro, são necessários mais estudos para avaliação de genótipos e seleção quanto à tolerância ao alumínio.

Referências

- 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 alumínio em solução nutritiva: I. Crescimento e desenvolvimento da parte aérea e sistema radicular. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 22, p. 435-442, 1998.
- CHOUDHARY, A. K.; DHARMENDRA, S.; JITENDRA, K. A comparative study of screening methods for tolerance to aluminum toxicity in pigeonpea [*Cajanus cajan*'(L.) Millspaugh]. **Australian Journal of Crop Science**, v. 5, p. 1419-1426, 2011.
- DANTAS, A. C. M.; FORTES, G. L. R.; 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**, v. 36, p. 615-623, 2001.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Área destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras permanentes**. 2016. Disponível em: <<http://www2.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1613&z=t&o=11&i=P>>. Acesso em: 9 dez. 2016.
- JORGE, L. A. C.; RODRIGUES, A. F. O. **Safira**: sistema de análise de fibras e raízes. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. 21p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 24).
- KOCHIAN, L. V.; HOEKENGA, O. A.; PINEROS, M. A. How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency. **Annual Review of Plant Biology**, v. 55, p. 459-493, 2004.
- KUMAR, P. H. Effect of aluminium on the growth of cashew seedlings (*Anacardium occidentale* L.) in sand culture. **Indian Cashew Journal**, v. 14, p. 9-11, 1981.
- LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S.; AQUINO, A. R. L. **O alumínio em solos cultivados com cajueiro com cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) no Piauí**. Fortaleza: Embrapa

- Agroindústria Tropical, 1999. (Embrapa Agroindústria Tropical. Comunicado técnico, 33). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/5592/1/Ct-033.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2017.
- LIN, Z.; MYHRE, D. L. Differential response of citrus rootstocks to aluminium levels in nutrient solutions: I. Plant growth. **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, p. 1223-1238, 1991.
- MENOSSO, O. R.; COSTA, J. A.; ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Tolerância de genótipos de soja ao alumínio em solução. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 2157-2166, 2000.
- NARASIMHAMOORTHY, B.; BLANCAFLOR, E. B.; BOUTON, J. H.; PAYTON, M. E.; SLEDGE, M. K. A comparison of hydroponics, soil, and root staining methods for evaluation of aluminum tolerance in *Medicago truncatula* (barrel medic) germplasm. **Crop Science**, v. 47, p. 321-328, 2007.
- PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; FURLANI, P. R. Tolerância à toxicidade de alumínio de linhagens e híbridos de milho em solução nutritiva. **Bragantia**, v. 61, p. 11-16, 2002.
- PEREIRA, W. E.; SIQUEIRA, D. L.; PUIATTI, M. Growth of citrus rootstocks under aluminium stress in hydroponics. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 31-41, 2003.
- RAIJ, B. van. Melhorando o ambiente radicular em subsuperfície. **Informações Agronômicas**, v. 135, p. 8-18, 2011.
- RAMOS, A. D.; FROTA, P. C. E.; LIMA, A. A. C.; OLIVEIRA, F. N. S. **Solos cultivados com cajueiro: características e limitações**. Fortaleza: Embrapa-CNPAT, 1997. 48 p. (Embrapa-CNPAT. Documentos, 21). Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAT-2010/4889/1/Dc-021.pdf>>. Acesso em: 13 jul. 2017.
- ROUT, G.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminium toxicity in plants: a review. **Agronomie**, v. 21, p. 3-21, 2001.
- SALVADOR, J. O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; CABRAL, C. P. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 787-796, 2000.
- SAMAC, D. A.; TESFAYE, M. Plant improvement for tolerance to aluminum in acid soils - a review. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 75, p. 189-207, 2003.
- SAS INSTITUTE. **SAS/STAT 12.1 User's Guide**. Cary, NC, 2012.
- SETOTAW, T. A.; NUNES, C. F.; SOUZA, C. S.; RIBEIRO, A. P.; FREITAS, G. F.; AMORIM, D. A.; SANTOS, D. N.; PASQUAL, M.; FERREIRA, J. L.; CANÇADO, G. M. A. Assessment of tolerance to aluminum toxicity in olive (*Olea europaea*) based on root growth and organic acid Al³⁺ exclusion mechanism. **Australian Journal of Crop Science**, v. 9, p. 264-270, 2015.

SIMON, L.; SMALLEY, T. J.; JONES, J. B.; LASSEIGNE, F. T. Aluminum toxicity in tomato. Part 1. Growth and mineral nutrition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 7, p. 293-306, 1994.

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**, v. 15, p. 236-246, 1992.

SPEHAR, C. R.; SOUZA, L. A. C. Selection for aluminum tolerance in tropical soybeans. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 1-6, 2006.

TAN, K. T.; KELTJENS, W. G.; FINDENEGG, G. R. Aluminum toxicity in sorghum genotypes as influenced by solution acidity. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 39, p. 291-298, 1993.

VILLA, F.; ALVARENGA, A. A.; PASQUAL, M.; CANÇADO, G. M. A.; ASSIS, F. A.; ASSIS, G. A. Seleção fenotípica de porta-enxertos de videira para tolerância ao alumínio, cultivados em solução nutritiva. **Ciência e Técnica Vitivinícola**, v. 24, p. 25-32, 2009.

VILLAGARCIA, M. R.; CARTER JUNIOR, T. E.; RUFTY, T. W.; NIEWOEHNER, A. S.; JENNETTE, M. W.; ARRELLANO, C. Genotypic rankings for aluminum tolerance of soybean roots grown in hydroponics and sand culture. **Crop Science**, v. 41, p. 1499-1507, 2001.

Embrapa

Agroindústria Tropical



MINISTÉRIO DA
AGRICULTURA, PECUÁRIA
E ABASTECIMENTO