

AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DE PLÂNTULAS DE AROEIRA (*SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS* R.) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ALUMÍNIO

EVALUATION OF THE DEVELOPMENT OF SEEDLINGS OF MASTIC (*SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS* R.) IN DIFFERENT ALUMINIUM CONCENTRATIONS

NUBIA VALLE MEZZAVILLA

Mestranda em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil
nubiavallegro@gmail.com

JORGE JACOB NETO

Pós-doutor em Ciências Biológicas pela University of Dundee, Dundee, Reino Unido
j.jacob@globo.com

RESUMO

O presente artigo foi elaborado com objetivo de estudar a toxidez de alumínio em Aroeira-vermelha (*Schinus Terebinthifolius* R.) crescida em solução nutritiva. Os experimentos foram realizados em câmara de crescimento no Laboratório de Química da Rizosfera no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural Rio de Janeiro, em soluções nutritiva completa e simples com cálcio (0,1mM) com concentrações de alumínio que variaram de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μ M. As avaliações das plântulas foram baseadas na análise do crescimento radicular utilizando os parâmetros comprimento radicular, taxa de crescimento radicular, alongação radicular relativa, comprimento da parte aérea, massa seca da parte aérea e radicular. O comprimento da raiz principal de plântulas de aroeira crescidas em soluções nutritivas completas paralisou seu crescimento na concentração de 131,87 μ M de Al. O uso de soluções simples, só com cálcio não foi recomendado para os estudos de toxidez de alumínio nesta espécie. O tempo de crescimento, anterior, no substrato deve ser levado em consideração em estudos de toxidez de alumínio em espécies que possuem raízes frágeis na fase inicial de crescimento.

Palavras-chave: Toxicidade. Alumínio em plântulas arbóreas. Substrato. Nível crítico de Al.

ABSTRACT

The present article was developed with the objective of studying the toxicity of aluminum in Aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) grown in nutrient solution. The experiments were carried out in a growth chamber at the Rizosfera Chemistry Laboratory in the Department of Fitotecnia, Institute of Agronomy of the Federal Rural University of Rio de Janeiro, in complete and simple nutritional solutions with calcium (0.1mM) with aluminum concentrations of 0, 25, 50, 100, 200 e 400 μ M. The seedling evaluations were based on root growth analysis using root length, root growth rate, relative root elongation, shoot length, shoot dry weight and root mass. The length of the main root of seedlings grown in complete nutrient solutions paralyzed their growth in the concentration of 131.87 μ M Al. The use of simple solutions with calcium alone was not recommended for the studies of aluminum toxicity in this species. The previous growth time in the substrate should be taken into account in aluminum toxicity studies in species that have fragile roots in the early stage of growth.

Keywords: Toxicity. Aluminum in tree seedlings. Substrate. Critical Level of aluminum.

1. INTRODUÇÃO

A espécie *Schinus terebinthifolius* Raddi, pertence à família Anacardiaceae é nativa do Brasil e popularmente conhecida como aroeira-vermelha, pimenta-rosa, aroeira mansa, entre outros (ROCHA et al., 2012). Atualmente essa espécie florestal vem destacando-se, pelo consumo de seus frutos, pelas potencialidades medicinais e fitoquímicas, que têm auxiliado no tratamento de diversas doenças.

É uma planta originária da América do Sul, especialmente do Sul do Brasil, do Paraguai e Argentina. Planta pioneira, perenifólia e heliófita, comum em beira de rios, córregos e em várzeas úmidas de formações secundárias, mas cresce também em terrenos secos e pobres. É amplamente disseminada por pássaros, o que explica sua boa regeneração natural. Possui ampla dispersão, ocorrendo desde a restinga até as florestas pluviais semidecídua (LORENZI, 2002).

A aroeira-vermelha é uma das 20 árvores mais plantada na cidade do Rio de Janeiro. A espécie está incluída entre os 8 fitoterápicos ofertados pelo Sistema Único de Saúde, sendo também matéria-prima para a produção de produtos de beleza nas empresas de cosméticos, está presente em refinados pratos da culinária francesa e isso tem estimulado o cultivo, cuja exportação de seus frutos gera lucros para produtores brasileiros (FAES; SENAR, 2009). A espécie também se destaca na recuperação de áreas degradadas (SOUZA et al., 2001) e em programas de reflorestamento (KAGEYAMA; GANDARA, 2000) e arborização urbana.

O Alumínio é o terceiro elemento mais abundante da litosfera, ficando atrás somente do oxigênio e do silício, sendo o metal mais abundante da crosta terrestre, estando presente na vida de todos os organismos. Na fase sólida do solo, o Al ocorre na forma de minerais primários ou secundários, como aluminossilicatos, oxi-hidróxidos, sulfatos e fosfatos. (ROSSIELLO & JACOB NETO, 2006).

A toxidez causada pelo alumínio é considerada um dos fatores mais importantes que limitam a produtividade agrícola em solos ácidos com pH iguais ou inferiores a 5,0 (FOY et al., 1978; ANIOL, 1990; BENNET; BREEN, 1991; KOCHIAN, 1995). O Al é solubilizado na solução do solo ficando disponível para a planta em sua forma catiônica trivalente (Al^{+3}) e causando efeitos negativos ao seu crescimento e desenvolvimento (CAI et al., 2011). Trata-se de um elementoanfótero que pode atuar como cátion em meio ácido e como ânion em meióbásico, sendo o pH o principal fator que controla a sua disponibilidade no solo (MALAVOLTA, 1980; MIGUEL et al., 2010).

A inibição do alongamento radicular é o sintoma primário mais evidente quando se fala de toxidez de alumínio nos vegetais (RENGEL, 1992; CHANDRAN et al., 2008), provavelmente como resultado da indução de distúrbios na divisão celular no meristema apical das raízes (TAYLOR, 1988). Na parte aérea, os sintomas de toxidez causados pela presença do alumínio são considerados secundários. Segundo Beutler et al., (2001), quando o alumínio está em grandes quantidades e em condições ambientais favoráveis, pode se acumular no sistema radicular e pode ser translocado para a parte aérea da planta em pequenas concentrações. Esses sintomas secundários também podem aparecer devido à influência do alumínio na absorção e transporte de nutrientes essenciais e água para as plantas, gerando sintomas de déficit nutricional na parte aérea (FREITAS et al., 2006; ROSSIELO; JACOB-NETO, 2006) e redução do seu comprimento e massa seca (SIVAGURU; PALIWAL, 1993).

A maioria dos estudos com alumínio é relativo a plantas anuais/bianuais ou perenes de elevado valor econômico. Em alguns espécies florestais, como em pimenta-preta em trabalho realizado por Veloso e et al., (1995), valores menores que 15 mg de Al/L possui efeito positivo na produção de matéria seca e também em eucalipto (MULLETTE, 1975). O cultivo em solução nutritiva possui grande relevância para a seleção de genótipos e para estudos específicos de nutrição mineral, devido à facilidade que o método oferece para a avaliação do sistema radicular e da parte aérea (DELHAIZE; RYAN, 1995). Dentre as vantagens do uso de solução nutritiva, Rossiello e Jacob Neto (2006) destacaram o acesso ao sistema radicular, controle do pH e das concentrações do Al e de outros íons relevantes para as expressões das reações de sensibilidade ou tolerância.

Soluções nutritivas simples ou completa têm sido vastamente utilizadas em pesquisas sobre a toxidez do Al em culturas agrícolas e, mais recentemente, em espécies florestais (VASCONCELLOS FILHO, 2014). Dentre as principais vantagens está o maior controle experimental, rapidez, menor custo operacional e facilidade de manejo (JACOB-NETO, 1993; SCHEFFER-BASSO et al., 2000; FORTUNATO; NICOLOSO, 2004; PORTALUPPI et al., 2010). Este trabalho foi elaborado com o objetivo de avaliar o crescimento radicular em aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a condições de estresse por alumínio na fase de plântula em solução nutritiva completa e “simples” somente com cálcio e com diferentes níveis de alumínio na solução.

2. METODOLOGIA

O experimento foi instalado na Câmara de Crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera, no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da UFRRJ. A câmara de crescimento possuía o ambiente controlado, com fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro, sendo a temperatura diurna mantida entre 28-30°C e a noturna em 18-20°C.

Foram utilizadas sementes de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) oriundas de uma única matriz adquiridas da empresa Arbocenter – Birigui – SP. As sementes foram colocadas para germinação em caixa de areia lavada e umedecidas com água deionizada. Após o período de germinação, as plântulas foram cuidadosamente retiradas do substrato e depois lavadas com água deionizada para a eliminação de partículas de areia. Houve uma seleção quanto à uniformidade do tamanho das plântulas e depois disso foram colocadas nos respectivos recipientes com capacidade de 300 mL, que foram cobertos com papel alumínio para reduzir a entrada de luz, minimizando o crescimento de algas.

Antes da transferência das plântulas para as soluções nutritivas, foi avaliado o comprimento da raiz principal e da parte aérea, utilizando uma régua com graduação em milímetros. As plântulas foram colocadas nos recipientes, sendo fixadas com auxílio de esponja na altura do colo e discos de isopor contendo orifício na parte central, permitindo que a plântula permanecesse adequadamente mantendo apenas suas raízes submersas, com uma plântula por copo. A escolha das plântulas a serem transferidas para os recipientes foi realizada de forma aleatória. Durante todo o período dos experimentos foi avaliado diariamente o comprimento radicular. Após as coletas dos experimentos, foi avaliado o comprimento da raiz e parte aérea. O material vegetal foi seco em estufa à temperatura de 65 °C até obtenção de massa constante, para determinação da produção de matéria seca. O peso do material foi obtido através do uso de uma balança analítica.

A solução nutritiva simples, sem adição de nutrientes essenciais, foi preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), sendo composta apenas de 0,1mM de Ca. L⁻¹ na forma de CaCl₂.2H₂O e seis concentrações de Al na forma de AlCl₃.6H₂O. O pH da solução foi ajustado para 4.0 a 4,15 utilizando uma de solução de 1 M da HCl e 0,1 M de NaOH. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada diariamente com bombas de ar utilizadas para aquário. Foram realizados quatro testes para es-

tudar o crescimento e desenvolvimento das raízes das plântulas em solução nutritiva simples após a data da sementeira: Teste 1 - 13 dias após a sementeira, 10 dias na solução; Teste 2 - 15 dias após sementeira, 9 dias na solução; Teste 3 – 15 dias após a sementeira, 32 dias na solução; Teste 4 – 18 dias após a sementeira, 10 dias na solução. As concentrações de alumínio na solução foram em todos os testes de: 0, 25, 50, 100, 200 e 400 µM, com quatro repetições, em delineamentos inteiramente casualizado.

A solução nutritiva completa também foi preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), sendo composta por 0,5mM de N na forma de NH₄NO₃; 0,2mM de Ca na forma de CaCl₂.H₂O; 0,2mM de Mg na forma de MgSO₄.7H₂O; 0,5mM de K na forma de K₂SO₄; 0,1mM de P na forma de NaH₂PO₄.2H₂O; 10µM de Fe na forma de FeNa EDTA; 0,4µM de Mn na forma de MnSO₄.H₂O; 0,16µM de Zn na forma de ZnSO₄; 0,04µM de Cu na forma de CuSO₄; 0,5µM de Mo na forma de MoO₃; 0,04µM de Co na forma de CoSO₄.7H₂O. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 com uso de solução de 1M da HCl e 0,1M de KOH. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada diariamente com bombas de ar utilizadas para aquário. As concentrações de Al também foram preparadas utilizando uma solução stock de AlCl₃.6H₂O de acordo com Kinraide et al. (1985). O pH da solução foi ajustado para 4.0 a 4,15 utilizando uma de solução de 1 M da HCl e 0,1 M de NaOH.

Após os testes serem realizados foi determinado o período de 15 dias da sementeira em areia antes das plântulas serem transferidas para solução nutritiva completa. Sendo então o experimento de toxidez de alumínio em solução completa iniciado com o delineamento experimental inteiramente casualizado, com seis concentrações de alumínio (0, 25, 50, 100, 200 e 400 µM) e quatro repetições. Após 37 dias na solução, foi realizada a coleta das plântulas analisando o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR, massa seca de raiz e parte aérea.

Parâmetros avaliados;

A) Taxa de crescimento radicular (TCR) é calculada através da equação:

$$TCR = (C_f - C_i) / \Delta t$$

Onde: C_f = comprimento radicular final; C_i = comprimento radicular inicial; Δt: Intervalo do tempo em dias.

B) Elongação radicular relativa: (ERR%) é calculada de acordo com a equação proposta por Vasconcelos et al., (2002).

$$ERR = \frac{(Cf_{Alx} - Ci_{Alx})}{(Cf_{Al0} - Ci_{Al0})} \times 100$$

Onde: Ci_{Alx} = comprimento radicular inicial da raiz principal medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de “x” de Al; Cf_{Alx} = comprimento radicular final da raiz principal medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al; Ci_{Al0} = Comprimento radicular inicial da raiz principal antes da exposição à solução sem Al; Cf_{Al0} = Comprimento radicular final da raiz principal medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al.

3. RESULTADOS

As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico Assistat, As análises estatísticas dos experimentos foram realizadas após teste da distribuição normal e homogênea dos dados, realizada pelo teste de Bartlett. Posteriormente, foi realizada a análise de variância (ANOVA), e aplicado o Teste Tukey a 5% de significância para verificar as diferenças entre as médias. Quando necessário, para a maior homogeneização dos dados, foi realizada a transformação de dados para $(\sqrt{x+1})$, $\log x$ ou $1/x$, conforme o experimento. Por considerar que alguns pesquisadores entendem que as doses de Al são uma “variável quantitativa”, para melhor comparação das médias, foi também realizada análise de regressão além da análise de variância convencional, sendo a equação escolhida aquela que possui o melhor valor de coeficiente de determinação (R^2). Para análise mais detalhada dos dados, foi utilizada a equação de regressão significativa até o segundo grau, desprezando os demais graus. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa estatístico Assistat.

Nos testes para adequar o tempo de permanência na areia antes da transferência para as soluções nutritivas, foram estudados apenas os parâmetros que são considerados indicadores de toxidez de alumínio, sendo eles o comprimento radicular, a elongação radicular relativa e a taxa de crescimento radicular, na escolha do período ideal de transferência. Os dados dos testes são apresentados com base nas análises estatísticas e de regressão.

No teste 1, as plântulas cresceram em areia por

13 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 10 dias. Os valores das médias obtidas nestas condições para o comprimento radicular, que não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey 5%. Porém a menor média foi obtida na solução sem adição de alumínio sendo de 23,58 mm e a maior média de 29,91 mm na concentração de 25 μM de Al. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular, a equação que mais se ajustou aos dados de forma significativa, foi a linear, $y = 0,01636783x + 27,23207143$ com $R^2 = 0,52$, portanto o comprimento radicular não respondeu as adições de alumínio.

No teste 2, as plântulas cresceram em areia por 15 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 9 dias. Para os dados do comprimento radicular a menor média encontrada referente a este teste, foi na concentração de 200 μM de alumínio e a maior na concentração de 400 μM de Al, as demais concentrações não diferiram estatisticamente pelo teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou aos dados de forma significativa foi a quadrática, $y = - 0,00067074x^2 - 0,05003277x + 22,29775897$ com $R^2 = 0,45$, caracterizando um aumento na concentração em 400 μM o que não era esperado.

No teste 3, as plântulas cresceram em areia por 15 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 32 dias. Para os dados de comprimento radicular, a menor média foi de 16,25mm encontrada na concentração de 100 μM alumínio e a maior média 21,00 mm na concentração de 200 μM Al. Não ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre todas as médias utilizando o teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular, a equação que mais se ajustou aos dados foi à quadrática, $y = - 0,00000444x^2 + 0,00430420x + 17,56233775$ com $R^2 = 0,04$. Esta equação possui um baixo índice de determinação de apenas 0,2, indicando falta de correlação entre o comprimento radicular e a concentração de alumínio. O coeficiente de correlação para a equação da reta foi de um valor muito aproximado ao da equação quadrática possuindo o valor de $R^2 = 0,0396$ para a equação $y = 0,176x + 17,412$. Neste teste 3, ocorreram quebras das raízes principais, talvez devido a essa espécie apresentar um sistema radicular frágil e muito fino, dificultando assim as suas medições, pois aconteceram quebras em vários tratamentos e repetições ocorreu estagnação do crescimento, ou atrofiamento no

caso da dosagem de 800 µM.

No teste 4, as plântulas cresceram em areia por 18 dias, posteriormente sendo transferidas para a solução nutritiva simples onde permaneceram por mais 10 dias. Os valores de comprimento radicular variaram de médias de 55,25 mm na solução sem adição de alumínio e 32,25 mm na concentração de 400 µM de Al. A dose sem adição de alumínio diferiu significativamente da dose de 25 µM, 200 µM e 400 µM de Al, não diferindo das demais médias quando analisadas pelo teste Tukey 5%. Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou foi a cúbica, $y = -0,00005823x^3 + 0,01202936x^2 - 0,83418793x + 53,71238450$ e com $R^2 = 0,83$, subentendendo que já na primeira dose de alumínio (25 µM) ocorreria toxidez de alumínio. Isso indicou que neste teste 4 realizado com plântulas que cresceram por um período de tempo maior na areia, o efeito do alumínio poderia ser mais claramente manifestado.

Quando foi usado o parâmetro de avaliação da alongação radicular relativa, o maior valor foi encontrado na dose de 25 µM de Al referente ao teste 1. Esta variável mede o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas sem contato com alumínio. No teste 2, 15 dias após semeadura e 9 dias na solução, usando a alongação radicular relativa foi encontrado na dose de 400 µM de alumínio o maior valor, inferindo que esta dose até estimulou o crescimento radicular, não exercendo efeito fitotóxico. No teste 3 o maior valor foi encontrado na dose 200 µM de Al após 11 dias na solução.

No teste 4, foi observado que a partir da primeira dose de alumínio (25 µM) já apresentava a queda da alongação radicular relativa. Neste teste as dosagens de alumínio causaram efeito fitotóxico sobre o crescimento da raiz, evidenciando que as condições de crescimento das plântulas foram as ideais para testar a toxidez de alumínio, ou seja, 11 dias ou mais, após a semeadura elas estão aptas para serem realizados os testes de toxidez. Os dados da alongação radicular apenas confirmaram as tendências observadas quando as plântulas foram analisadas utilizando o comprimento radicular e a taxa de crescimento. Os dados sugeriram que um maior período de crescimento em areia deve ser usado para estudar toxidez de Aroeira em solução nutritiva diluída.

Os dados do experimento com a solução completa, onde todos os nutrientes essenciais estão presentes, para os parâmetros comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, após crescerem por 15

dias em areia, antes das plântulas serem transferidas para a solução, podem ser vistos na tabela 1. Os dados indicaram que não ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre os tratamentos, quando analisados pelo teste de Tukey 5% para os parâmetros: comprimento da parte aérea e massa seca de parte aérea. Nas medições de massa seca de raiz, o tratamento sem Al apresentou a maior média e diferiu estatisticamente da concentração de 400 µM de Al, quando analisados pelo teste de Tukey 5%.

Tabela 1: comprimento de parte aérea, massa seca de raiz e parte aérea, de plantas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas em solução nutritiva completa por 37 dias

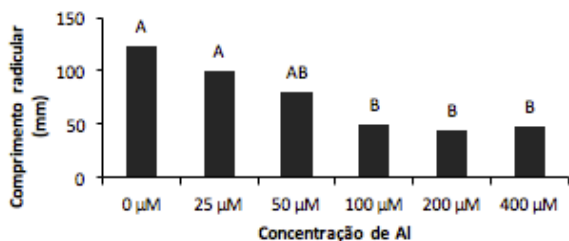
Concentração de Al (µM)	Comprimento (mm)		
	PA	PA	Raiz
0	64,75 A	24,00 A	8,67 A
25	52,75 A	18,00 A	4,00 AB
50	55,75 A	14,00 A	5,67 B
100	52,50 A	17,00 A	4,33 BC
200	61,00 A	26,00 A	6,00 AB
400	51,50 A	18,00 A	2,33 C
CV%	18,29	11,63	19,89

As médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o comprimento radicular, figura 1, observou-se que ocorreram diferenças significativas estatisticamente entre o tratamento sem adição de alumínio e as concentrações de 100, 200 e 400 µM de Al, quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%. Não ocorreram diferenças significativas pelo teste Tukey 5% entre o tratamento sem adição de Al e as dosagens de 25 e 50 µM de Al. As médias do comprimento radicular variaram de 123 mm sem presença de alumínio a 47,75 mm na concentração de 400 µM de Al.

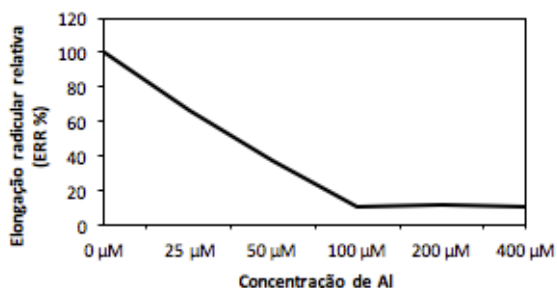
Realizando a regressão dos dados do comprimento radicular a equação que mais se ajustou aos dados foi a linear, $y = -0,93158935x + 122,85585542$ com $R^2 = 0,89$. De acordo com essa equação, a concentração de alumínio onde a planta cessaria completamente o crescimento seria na dose de 131,87 µM de Al.

Figura 1: Comprimento radicular de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), submetidas a diferentes doses de alumínio em solução nutritiva completa por 37 dias. CV % = 7,39.



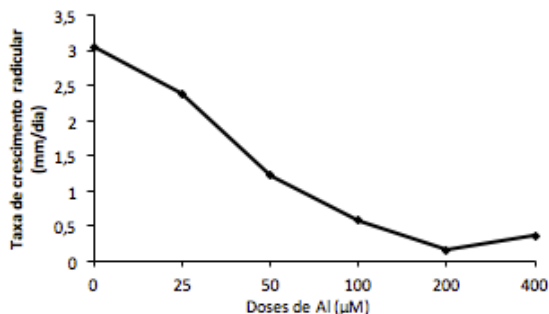
Na figura 2, o gráfico mostra a alongação radicular relativa, apresentando a sensibilidade da aroeira-vermelha, ao alumínio. O declínio com as doses de alumínio é compatível com outros dados de alongação radicular, para plantas sensíveis ao alumínio

Figura 2: Dados médios de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.



Para os dados de taxa de crescimento radicular (figura 3) foi realizada a análise de regressão e obtida à equação que mais se ajustou aos dados, sendo encontrada a equação linear $y = - 0,00148096x + 1,29012898$ e com $R^2 = 0,90$. Os dados para elaboração da equação de regressão foram transformados usando $(x + c; \sqrt{x})$ no programa Assistat 7.7 Beta. De acordo com essa equação a raiz irá parar completamente de crescer quando for adicionado na solução nutritiva completa uma dosagem alumínio de cerca 871,14 µM de Al.

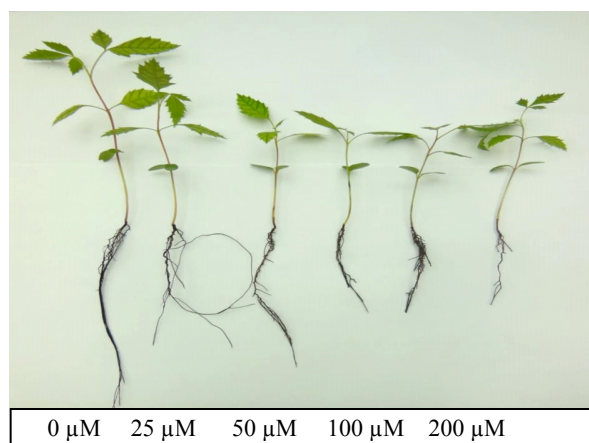
Figura 3: taxa de crescimento radicular (TRC) das plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.) crescidas por 37 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV % = 20,22.



Através do cálculo da alongação radicular relativa (ERR%), é possível avaliar o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas crescidas sem contato com alumínio. Sendo assim, uma avaliação percentual dos efeitos dos tratamentos, retirando o crescimento natural das raízes.

Na figura 4 pode ser visto uma vista geral do experimento em solução completa, onde à medida que se aumentava a concentração de alumínio na solução ocorreu modificação na morfologia das raízes, diminuindo o comprimento da raiz principal. Em dosagens mais elevadas de 800 µM chegou a atrofiar e engrossar a ponta da raiz (dados não apresentados).

Figura 4: Aspecto geral da morfologia de plântulas de aroeira-vermelha (*Schinus terebinthifolius* R.), crescidas por 37 dias após o transplante para a solução completa de alumínio com as concentrações de 0, 25, 50, 100, 200 e 400 µM.



4. DISCUSSÃO

O alumínio é um elemento conhecido por causar toxicidade nas plantas podendo levar à morte quando em altas concentrações ou quando as plantas são mais sensíveis à sua presença no solo. Um dado importante

encontrado neste presente estudo com a aroeira-vermelha é que ela possui raízes muito finas e delicadas. Por exemplo, elas ficaram muito quebradiças ocasionando perdas, especialmente naquelas crescidas em solução nutritiva simples, tendo o efeito mais pronunciado ainda quando o tempo da sementeira até o transplante foi pequeno. Na literatura não foi encontrado relato relacionando tempo de sementeira até o transplante e as respostas ao alumínio em solução nutritiva. Este trabalho, portanto, acrescenta que além dos cuidados com a concentração de alumínio na solução, ligantes orgânicos, presença de cálcio e fósforo e impedância mecânica (ROSSIELLO & JACOB-NETO, 2006), o tipo de raiz deve ser levado em consideração, pois deve ser estudado quando elas podem ser transferidas para a solução nutritiva. Os resultados apresentados pelos testes realizados em solução somente com cálcio, não recomenda o uso deste tipo de solução em estudos de toxicidade de alumínio. Entretanto, não foi descartado que ocorreu interação entre a idade das plântulas no momento do transplante e solução simples, só com cálcio. Sendo encontrado o tempo certo de crescimento anterior no substrato, talvez a solução pudesse ser usada, entretanto, torna mais trabalhoso o teste de toxicidade ao alumínio. No presente trabalho quatro testes foram utilizados.

Para essa espécie nas condições de raízes muito quebradiças, se isto ocorrer bem no início do experimento, a alternativa de se utilizar os parâmetros taxa de comprimento radicular e a alongação radicular relativa poderia ser mais indicado do que somente utilizar o comprimento. A alongação radicular relativa (ERR%), leva em consideração o comprimento da raiz principal das plântulas crescidas em alumínio e divide pelo comprimento das plântulas crescidas sem alumínio, descontando o efeito da condição ideal, sem alumínio, por esta razão este parâmetro de avaliação poderia ser o método a ser adotado, caso se use soluções somente com cálcio. Na literatura podem ser encontrados trabalhos sugerindo que o comprimento radicular pode ser utilizado para o processo de seleção de plantas tolerantes ao alumínio (GARLAND-CAMPBELL; CARTER 1990; VASCONCELOS et al., 2002a). Nos experimentos deste trabalho o comprimento radicular foi considerado o parâmetro mais importante no processo de seleção à tolerância ao alumínio, como também já relatado por Silva (2009). Os níveis de toxicidade de alumínio para esta planta encontrados neste trabalho estão de acordo com outras pesquisas (VASCONCELOS et al., 2002a; VASCONCELOS et al., 2002b).

O comprimento da raiz principal é um dos pa-

râmetros mais utilizados na indicação de toxicidade de alumínio em plantas (FOY, 1978; SIVAGURU et al., 1999). Inicialmente a toxicidade do Al inibe a divisão celular, sendo o ápice da raiz o local mais afetado, conseqüentemente afeta também o crescimento radicular (MATSUMOTO et al., 2000).

O efeito da toxicidade foi verificado nas plântulas e o seu crescimento foi baixo, quase nulo das raízes que se encontravam nas doses altas de Al e a taxa de crescimento radicular decresceu conforme se aumentava a dose de Al nas soluções completas de nutrientes. Os resultados são semelhantes ao que foram encontrados por Macedo et al., (2011) com pinhão-mansão, Batista et al.,(2013) trabalhando com milho e Vasconcelos Filho (2014) no estudo com *Anacardium othonianum* R.

Nos tratamentos com Al, as raízes apresentavam sintomas típicos de toxicidade, tendo o encurtamento da raiz principal, engrossamento e até o escurecimento do ápice. Os sintomas de toxicidade observados, também são relatados por Braccini et al., (2000), ao trabalhar com cafeeiro no estudo de tolerância de genótipos.

Quando as plântulas possuíam raízes secundárias, essas muitas das vezes eram de número reduzido, curtas e grossas, quando comparadas as raízes no tratamento sem adição de Al. Um dado importante, a espécie utilizada por possuir raízes muito finas e delicadas, foi muito comum à perda de raízes devido à quebra.

A maior dificuldade encontrada no trabalho foi em estabelecer um conjunto de plântulas que possuísem uma mesma morfologia e condições de crescimento. Devido a aroeira-vermelha ser uma planta dióica, ou seja, existem plantas femininas e plantas masculinas, sexo separados, pode haver assim uma grande variação genotípica nas sementes. Outro dado importante, é que essa espécie não foi melhorada geneticamente. Neste trabalho foram utilizadas as sementes provenientes de uma única planta matriz, visando diminuir a variabilidade. Entretanto, ainda foi difícil obter plântulas de raízes uniformes.

Este trabalho é resultante de uma série de projetos executados ou em andamento no laboratório de Química da Rizosfera-IA-UFRRJ onde se procura entender os mecanismos de toxicidade de alumínio especialmente em espécies arbóreas, como por exemplo, os executados por Polese (2013), Vasconcelos Filho (2014), Lemos (2015), Lemos et al., (2015) e Machado (2015). Os níveis de toxicidade encontrados quando se utilizou o comprimento da raiz principal estão de

acordo com os encontrados por Polese (2013), Lemos et al. (2015) e Machado (2015). A aroeira-vermelha é uma planta com relativa importância econômica. Entretanto ficou claro neste trabalho, que são necessárias mais pesquisas científicas com estas espécies, que no momento atual não estão no mesmo nível de importância econômica das grandes culturas produtoras de grãos, bem estudadas com relação à toxidez de alumínio. Entretanto, são plantas essenciais para um determinado bioma ou que apresentam valor paisagístico na arborização urbana. São necessárias mais pesquisas científicas com estas espécies, que no momento atual não estão no mesmo nível de importância econômica das grandes culturas produtoras de grãos, mas que são plantas essenciais a um determinado bioma ou que apresentam valor paisagístico na arborização urbana.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comprimento da raiz principal de plântulas de aroeira crescidas em soluções nutritivas completas paralisou seu crescimento na concentração de 131,87 µM de Al.

O uso de soluções simples, só com cálcio não foi recomendado para os estudos de toxidez de alumínio nesta espécie.

O tempo de crescimento, anterior, no substrato deve ser levado em consideração em estudos de toxidez de alumínio em espécies que possuem raízes iniciais frágeis.

6. REFERÊNCIAS

ANIOL, A. Genetics of tolerance to aluminium in wheat (*Triticum aestivum* L. Thell). **Plant and Soil**, Dordrecht, v.123, n.2. p.223-227. Apr. 1990.

BENNET, R. J.; BREEN, C. M. The aluminium signal: new dimensions to mechanisms of aluminium tolerance. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.134, n.1, p.153-166, July, 1991.

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.; SILVA, E.A.M.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxi-

lina 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.

CAI, M. Z.; WANG, F.M.; ZHANG, S.N.; WANG, N.; XU, GD. Response and tolerance of root border cells to aluminum toxicity in soybean seedlings. **Journal of inorganic biochemistry**, v.105, n.7, p.966-971, 2011.

CHANDRAN, D.; SHAROPOVA, N.; VANDENBOSCH, K. A.; GARVIN, D. F; SAMAC, D. A. Physiological and molecular characterization of aluminum resistance in *Medicago truncatula*. **BMC Plant Biology**, v. 8, n. 89, 2008.

DELHAIZE, E.; RYAN, P.R. Aluminum toxicity and tolerance in plants. **Plant Physiology**, Rockville, v. 107, n. 2, p. 315-321, 1995.

FAES & SENAR. Pimenta-rosa desponta para a exportação no Espírito Santo. **Jornal Esta Terra**. Vitória - ES: Federação de Agricultura e Pecuária do Estado do Espírito Santo (FAES) e do Serviço Nacional de Aprendizagem Rural – Administração Regional do Estado do Espírito Santo (SENAR-AR/ES) p. 6-7, 2009.

FOY, C. D.; CHANEY, R.L. & WHITE, M.C. The physiology of metal toxicity in plants. **Ann Rev. Plant Physiol**, 29: 511-56, 1978.

FORTUNATO, R.P.; NICOLOSO, F.T. Toxidez de alumínio em plântulas de grábia (*Apuleia leiocarpa* Vog. Macbride). **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.1, 2004.

FREITAS, F.A.; KOPP, M.M.; SOUSA, R.O.; ZIMMER, P.D.; CARVALHO, F.I.F.; OLIVEIRA, A.C. Absorção de P, Mg, Ca e K e tolerância de genótipos de arroz submetidos a estresse por alumínio em sistemas hidropônicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.1, p.72-79, 2006.

GARLAND-CAMPBELL, K.A.; CARTER, T.E. Jr. Aluminium tolerance in soybean: genotypic correlation and repeatability of solution culture and greenhouse screening methods. **Crop Sci**. 30 p. 1049-1054, 1990.

- JACOB NETO, J. **The interations of H⁺/ OH⁻ exchanges between roots and rhizosphere with plant nutricion and aluminium effects.** Dundee, University of Dundee, 1993. 281p. (Tese de Doutorado).
- KAGEYAMA, P.Y.; GANDARA, F.B. Recuperação de áreas ciliares. Pp. 249-269. In: R.R. Rodrigues & H. Leitão Filho (org.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação.** São Paulo, EDUSP. 2000.
- KINRAIDE, T.B.; ARNOLD, R.C.; BALIGAR, V.C. A rapid assay to access aluminum phytotoxicity at submicromolar concentrations. **Plant Physiol.**, 65: p. 245-250, 1985.
- KOCHIAN, L. V. Cellular mechanism of aluminium toxicity and resistance in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.**, 46: 237 -260, 1995.
- LEMOS, J DE J.; SILVA, A.C.; JACOB NETO, J. Diminuição do crescimento de plântulas de espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana em função da indução da toxidez de alumínio. **Semioses**, Rio de Janeiro, v.9, n.2, p. 22 – 37, 2015.
- LEMOS, J. J. **Minimização dos processos de emissão de novos galhos após a realização da poda em árvores utilizadas na arborização urbana: importância para o setor elétrico.** Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, p.170, 2015.
- MACHADO, A.L. **Toxidez do alumínio e eficiência de diferentes tipos de poda em *Bauhinia variegata* L.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 1980. 251p.
- MATSUMOTO, H. Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants. **International Review Cytology**, San Diego, v.200, p.1-46, 2000.
- MIGUEL, P.S.B.; GOMES, F.T.; ROCHA, W.S.D.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, C.A.; OLIVEIRA, A.V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**. v.24. Juiz de Fora, 2010.
- MULLETTE, K.J. Stimulation of Growth in Eucalyptus due to Aluminium. **Plant and Soil** v.42, p. 495-499, 1975.
- POLESE, V. **Efeito de inibidores de crescimento e do tipo de poda em plantas utilizadas na arborização.** 2013. 89p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2013.
- PORTALUPPI, R.; BRAMMER, S.P.; MAGALHÃES, J.V.; COSTA, C.T.; CAIERÃO, E.; NASCIMENTO JUNIOR, A.; SILVA JUNIOR, J.P. Tolerância de genótipos de cereais de inverno ao alumínio em cultivo hidropônico e em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 1, p. 178-185, jan. 2010.
- RENGEL, Z. Role of calcium in aluminum toxicity. **New Phytol.** 121: p.499-513, 1992.
- ROCHA, R.P.D.A.; MELO, E.DE C.; BARBOSA, L.C.DE A. Efeito do processo de secagem sobre o teor do óleo essencial de pimenta-rosa. **VI Simpósio Iberoamericano de Plantas Mediciniais**, Ponta Grossa-PR, 2012.
- ROSSIELLO, R. O. P.; JACOB-NETO, J. Toxidez de alumínio em plantas: Novos enfoques para um velho problema. In: Fernandes, M. S. **Nutrição mineral de plantas.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos. 432 p. 2006.
- SCHEFFER-BASSO. S.M.; AGNOL, M.A.; CAETANO, J.H.S.; JACQUES, A.V.A. Growth of *Adesmia* spp. Seedlings submitted to aluminum doses in nutritive solution. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, n.2, p. 217-222, 2000.
- SILVA, A.C. **Avaliação da tolerância ao alumínio em plântulas de maracujazeiro e mamoeiro.** Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, p.72, 2009.
- SIVAGURU, M.; PALIWAL, K. Differential aluminumtolerance in some tropical rice : I. Growth performance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, n. 9, p. 1705-1716, 1993.

SOUZA, P.A.; VENTURINI, N.; MACEDO, R.L.G.; ALVARENGA, M.I.N.; DA SILVA, V.F. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Cerne** 7: 43-52, 2001.

TAYLOR, G.J. The physiology of aluminum tolerance in higher plants. **Commun Soil Sci Plant Anal** 19 11 79-1 194. 1988.

VASCONCELOS FILHO, S.C. **Toxidez do Alumínio em Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium Othonianum Rizz.*)**. 2014. 79 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2014.

VASCONCELOS, S. S.; JACOB NETO, J.;ROSSIELO, R. O. P. . Differential root responses to aluminum stress among brazilian rice genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, n.3, p. 655-669, 2002b.

VASCONCELOS, S.S.; ROSSIELO, R.O.P.; JACOB-NETO, J. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, n.3, p. 357-363, 2002a.

VELOSO, C.A.C.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, E.; DE CARVALHO, J.G. Influência do Manganês Sobre a Nutrição e Crescimento da Pimenteira do Reino. **Scientia Agraria**, v.52, n.2, p. 376-386, 1995.