

<http://dx.doi.org/10.15202/1981996X.2015v9n2p22>

DIMINUIÇÃO DO CRESCIMENTO DE PLÂNTULAS DE ESPÉCIES ARBÓREAS UTILIZADAS NA ARBORIZAÇÃO URBANA EM FUNÇÃO DA INDUÇÃO DA TOXIDEZ DE ALUMÍNIO

Joice de Jesus Lemos

Doutora em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil

Aldir Carlos Silva

Doutor em Fitotecnia pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, RJ, Brasil

Jorge Jacob Neto

Pós-doutor em Ciências Biológicas pela University of Dundee, Dundee, Reino Unido

RESUMO

O presente artigo aborda o possível efeito da toxicidade causada por alumínio em plântulas de três espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana, o sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.), o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* B.) e a acácia (*Acacia mangium* W.). O objetivo principal foi o de verificar a toxidez induzida por alumínio e sua associação com a redução do crescimento, utilizando um produto não tóxico ao homem e ao ambiente. Árvores altas com seus galhos, no ambiente urbano, podem trazer problemas devido ao porte elevado ao entrarem em contato com as construções, linhas de transmissão e distribuição de energia, entre outros. Dosagens controladas, induzidas por alumínio podem ser utilizadas na redução de crescimento das plantas. As avaliações foram realizadas em plântulas levando em consideração que a resistência ao alumínio de uma planta jovem é associada ao seu material genético, independentemente de sua idade. Foram realizados três experimentos com aplicação de $Al_2(SO_4)_3$ utilizando um o produto comercial em diferentes concentrações, semeadas em vasos de 1,0 Kg com dois solos, Planossolo ou Argissolo. Os resultados mostraram que a espécie sombreiro foi mais suscetível à presença de Al no solo, reduzindo comprimento e o diâmetro das raízes nas maiores concentrações de Al, enquanto que as espécies arbóreas acácia e sabiá foram mais tolerantes a toxidez. Os dados morfológicos das espécies sofreram influência do tipo de solo, maior toxicidade foi encontrada no solo Planossolo do que no Argissolo, quando foi adicionado o sulfato de alumínio.

Palavras-chave: Alumínio em plântulas arbóreas. Sombreiro. Sabiá. Acácia. Arborização urbana.

REDUCTION OF THE SEEDLINGS GROWTH OF SPECIES USED IN ARBORICULTURE DUE INDUCTION OF ALUMINUM TOXICITY

ABSTRACT

This article discusses the possible effect of toxicity caused by aluminum in seedlings of three tree species used in urban forestry, the sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.), the sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* B.) and acacia (*Acacia mangium* W.). The main objective was to determine the toxicity induced by aluminum and its association with reduced growth using a non-toxic product to man and the environment. Tall trees with their branches in the urban environment may cause

problems due to the large size on contact with buildings, electric transmission lines, among others. Dosages controlled induced by aluminum can be used in the reduction of plant growth. The evaluations were performed in seedlings taking into account that resistance to aluminum a young plant is linked to its genetic material, regardless of age. Three experiments were conducted with application of $Al_2(SO_4)_3$ using a commercial product in different concentrations, plated on 1.0 Kg vessels with two soils Planosol or Argisol. The results showed that the *Sombreiro* species was more susceptible to the presence of Al in the soil, reducing the length and root diameter at higher Al concentrations, whereas the tree species *acacia* and *sabiá* were more tolerant to toxicity. The type of soil influenced the morphological species, the greater toxicity was found in soil Planosol than Argisol when aluminum sulfate was added.

Keywords: Aluminum tree seedlings. *Sombreiro*. *Sabiá*. *Acácia*. Arboriculture.

1 INTRODUÇÃO

A arborização urbana possui inúmeros benefícios à população dos centros urbanos. Além de proporcionar o embelezamento das cidades, traz a nostalgia dos lares dos campos e meio rural para as cidades. As árvores nas ruas fornecem inúmeros benefícios ao homem, tanto ambiental (JIM; CHEN, 2009), econômico (MCPERSON et al., 2005; DONOVAN; BUTRY, 2009), psicológico (SUGIYAMA; LESLIE; GILES-CORTI, 2008; LAFORTEZZA et al., 2009) e benefícios sociais (TROY; GROVE, 2008; KAPLAN; KAPLAN, 2009).

As árvores diminuem o impacto ambiental causado pela industrialização, melhoram o clima, absorvem CO_2 , reduzem os barulhos, proporcionam sombras e áreas de lazer, além de servirem como abrigos para a fauna, podendo ser considerada um elemento essencial na vida das pessoas. As árvores urbanas não proporcionam somente benefícios ao meio urbano. A sua presença, quando mal planejada, poderá acarretar conflitos com as construções, sinalizações (semáforos, placas de trânsito), fiações elétricas, de telefone e de TV a cabo e internet, além de suas raízes levantarem calçadas e estourarem canalizações de água e esgoto (VILLARINHO et al., 2005).

Para evitar a queda e/ou falta de luz nas cidades, causadas pelo conflito entre as árvores e as fiações, as empresas do setor elétrico se veem na necessidade de tomar providências quando os galhos das árvores se aproximam da fiação. Com isso, é realizada a poda das árvores, muitas vezes de forma inadequada, apenas com o objetivo de se eliminar o problema da fiação sem se importar com a saúde e aparência das árvores. Em muitas situações do cotidiano, as árvores podem trazer problemas, porém seus inúmeros benefícios no meio urbano faz delas partes importantes do meio ambiente urbano. Portanto, o objetivo é conseguir mantê-las da melhor forma possível, com boa saúde e beleza, evitando o excesso de podas que podem ter como consequência a queda e/ou morte de árvores ou em casos mais extremos a eliminação da planta por conta dos conflitos gerados entre elas e as construções e fiações.

Para tanto, o ideal é tentar reduzir o seu crescimento, direcionar ramificações através da poda, sem eliminação completa da planta. Entretanto ainda não existe alternativa que resolva completamente o problema de crescimento ou ramificação excessiva. Uma alternativa eficiente seria a escolha de uma espécie mais adequada àquele local de plantio, com um bom planejamento, mas as vezes são árvores centenárias, já estabelecidas. O ambiente urbano não é totalmente favorável às espécies plantadas nas ruas. O mau planejamento da arborização leva até aos dias de hoje o plantio de espécies não adaptadas em locais indevidos. Partindo

do princípio que os solos urbanos são normalmente mais compactados devido ao excesso de construções, o espaço para seu crescimento é reduzido e conseqüentemente há menor absorção de água e elementos essenciais. Essas limitações podem ser usadas manipuladas para o controle de crescimento da planta.

Neste trabalho foi pensado em utilizar o elemento químico alumínio (Al) que é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre (ROSSIELLO; JACOB-NETO, 2006), como um possível inibidor do crescimento de plantas como já foi testado por Polese (2013). Em solos ácidos, o alumínio é solubilizado na solução do solo, transformando para sua forma de cátion trivalente (Al^{+3}), ficando disponível para a planta e gerando toxidez. A toxicidade é caracterizada primariamente pela inibição rápida de alongamento da raiz (VASCONCELOS et al., 2002; KOPITKE et al., 2015). As plantas sensíveis ao alumínio têm seu crescimento e desenvolvimento radicular inibido e forma raízes mais grossas, com coloração escura, poucas ramificações, menor volume, frágeis, podendo apresentar manchas necróticas e severas e irreversíveis danos à parede celular (FOY et al., 1978). Os sintomas secundários afetam a parte aérea da planta, pois normalmente quando o sistema radicular apresenta limitações, dificultam a absorção de água e nutrientes (FOY et al., 1978) e conseqüentemente podem reduzir a massa seca e altura das plantas (SIVAGURU; PALIWAL, 1993). Os sintomas de toxicidade de alumínio têm sido estudados em espécies arbóreas, principalmente aquelas de interesse econômico como as Piceas e os Pinus (CRONAN; GRIGAL, 1995; HODSON; EVANS, 1999), entretanto, existem pouco estudos relacionando as espécies arbóreas utilizadas na arborização urbana. O laboratório de Química da Rizosfera da UFRRJ, nos últimos anos, tem procurado trabalhar com espécies mais usados na arborização urbana associando ao elemento fitotóxico alumínio (POLESE, 2013; LEMOS, 2015).

Na cidade do Rio de Janeiro e em muitas outras no Brasil, o sombreiro (*Clitoria fairchildiana* Howard), o sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* Benth) e a acácia (*Acacia mangium* Willd) tem sido usados na arborização urbana e em projetos de paisagismo crescendo em vasos (containers) de cimento, áreas cimentadas de garagens e pátios, coberturas de prédios, e em espaços delimitados de calçadas. Em vários destes casos citados, o volume de substrato de crescimento pode ser conhecido. Para estudar uma forma de reduzir o crescimento sem causar danos irreversíveis na planta, foi analisado como um dos objetivos deste trabalho a utilização de uma fonte de alumínio aplicado diretamente no substrato de crescimento, analisando a morfologia das raízes, local indicador do efeito da toxicidade do alumínio (KOPITKE et al., 2015). As avaliações foram realizadas em plântulas levando em consideração que a resistência ao alumínio de uma planta jovem é associada ao seu material genética, independente de sua idade, sendo, portanto associada ao seu genótipo (GARLAND-CAMPBELL; CARTER, 1990). Este trabalho foi elaborado com o objetivo de estudar alternativas de manejo que permitam a diminuição do crescimento de plântulas de três espécies arbóreas (sombreiro, sabiá e acácia), com a aplicação de alumínio adicionado ao solo.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos 1, 2 e 3 foram instalados na Câmara de Crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera, no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da UFRRJ. A câmara de crescimento possuía ambiente controlado, com fotoperíodo de 12h luz/ 12h escuro,

sendo a temperatura diurna mantida entre 28-30°C e a noturna de 18-20°C. Foi utilizado o Sulfato de Alumínio ($Al_2(SO_4)_3$) de marca comercial Propiscina em todos os experimentos.

No experimento 1 foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, como os tratamentos de alumínio aplicado no solo em 6 diferentes concentrações (0, 1000, 2000, 3000, 4000 e 5000 kg ha⁻¹) e 5 repetições por tratamento. A camada superficial do solo (0-20 cm) foi descartada sendo utilizados a camada subsuperficial de 20-40cm de um perfil de solo classificado por Ramos, Castro e Camargo (1973) como Planossolo. A análise do solo foi realizada pelo Laboratório de Solos da PESAGRO (Seropédica/RJ) previamente a montagem do experimento. Os resultados obtidos de K, Ca, Mg, e Al, foram respectivamente 0,08; 2,2; 0,4 e 0 Cmol c/dm³, e para P e Na, respectivamente 9 e 12 mg/dm³. O solo foi peneirado usando uma peneira com 2,5 mm de diâmetro de furo, e posteriormente colocado 1,0 kg em vasos sem furos. Após a adição do alumínio, o solo foi misturado e somente após 3 dias é que foram colocadas 3 sementes de sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.) por vaso. A irrigação foi realizada diariamente ou quando necessário, até que o solo atingisse sua capacidade de campo.

A coleta das plântulas foi realizada 23 dias após o início do experimento e foram realizadas as seguintes avaliações: pH do solo, pH da rizosfera, peso da massa seca das raízes e da parte aérea, comprimento da raiz principal e da parte aérea, e diâmetro do ápice radicular.

A retirada das plântulas foi realizada com cuidado para que não fosse destruída nenhuma estrutura, principalmente a parte radicular, que quando afetada pelo alumínio muitas vezes encontram-se frágeis e menores do que o tamanho natural. A medida do comprimento da parte aérea e da raiz principal foi feito com o auxílio de régua e o diâmetro do ápice da raiz medido com um paquímetro. Foram separados o solo rizosférico (solo em contato com as raízes) e o não rizosférico (solo do vaso sem contato com as raízes) para a medição do pH (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 1997; LEMOS, 2010). Após esses procedimentos, a parte aérea foi separada da raiz de cada plântula, identificada, colocada em saco de papel e levada para serem secas em estufa sem ventilação forçada a 60°/65°C.

No experimento 2, o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, utilizando plântulas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* B.). Foram utilizados 5 concentrações de alumínio (0, 1000, 2000, 3000 e 4000 kg ha⁻¹) na forma de $Al_2(SO_4)_3$ comercial e dois tipos de solo Planossolo e Argissolo - segundo Ramos, Castro, Camargo (1973), contendo 5 repetições de cada tratamento. A quebra da dormência das sementes foi realizada. Foi utilizada apenas a camada de 20-40 cm dos solos que foram colocadas em vasos com um quilograma de solo. As análises químicas do solo foram realizadas no Departamento de Solos da UFRRJ, com o solo Planossolo obtendo as seguintes características químicas de K, Ca, Mg, Al, P e Na, 0,08; 2,2; 0,4 e 0 Cmolc/dm³ e 9 e 12 mg/dm³ respectivamente para as concentração dos elementos. As análises química do solo Argissolo foram realizadas no Laboratório de Solos da PESAGRO, Seropédica/RJ com os seguintes resultados para K, Ca, Mg, Na e Al 0,09; 1,9; 0,9; 0,034 e 0,1 Cmolc/dm³. A coleta das plântulas foi realizada 30 dias após o início do experimento e seguiu as mesmas metodologias de avaliações do experimento 1.

O experimento 3 foi realizado de forma similar ao experimento 2, diferindo apenas a espécie trabalhada que foi a *Acacia mangium* W., sem tratamento para quebra de dormência das sementes. A avaliação foi realizada 30 dias após o início do experimento.

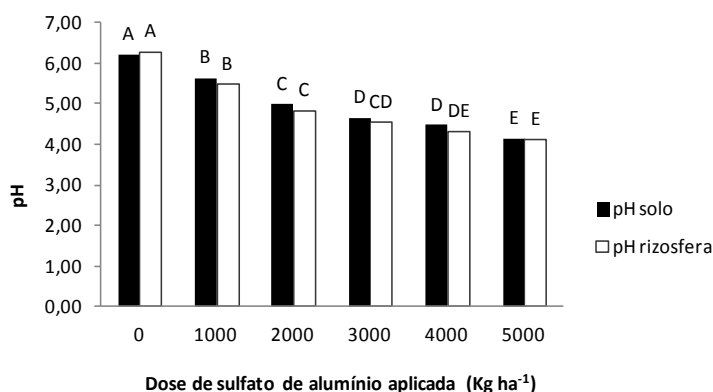
3 RESULTADOS

As análises estatísticas dos experimentos foram realizadas após teste da distribuição normal e homogênea dos dados, realizadas pelo teste de *Lilliefors* e teste de *Cochran e Bartlett*, respectivamente. Todas as diferenças ditas significativas no texto são baseados na análise estatística, através do teste *Tukey* a 5% de significância. Quando necessário, para a maior homogeneização dos dados, foi realizada a transformação destes para $(\sqrt{x+1})$. Apesar de alguns pesquisadores considerarem doses de Al como variável quantitativa, para melhor comparação das médias, também foi realizada análise de variância além da análise de regressão para melhor análise dos resultados, sendo a equação escolhida àquela que possui o melhor valor de coeficiente de determinação (R^2). Ocorrendo interação significativa, quando necessário, os dados foram desdobrados e comparações foram realizadas utilizando o teste *Tukey* 5%.

No Experimento 1, com plântulas de sombreiro, os valores de pH do solo não rizosférico e do solo coletado na rizosfera (ver Figura 1) decresceu proporcionalmente com o aumento da dosagem de alumínio aplicado ao solo. O pH do solo variou de 6,20 no tratamento sem adição de alumínio, até ao valor de 4,13 no tratamento com a maior dosagem de alumínio aplicado ao solo que foi de 5000 Kg ha⁻¹. Ocorreram diferenças desde a primeira dose de alumínio aplicada ao solo até a maior dosagem de 5000 Kg ha⁻¹ embora não tenham ocorrido diferenças entre as doses de 3000 e 4000 Kg ha⁻¹. Utilizando a análise de regressão foi estimado que a partir da dosagem 6281,64 Kg ha⁻¹ de alumínio, o valor de pH pararia de diminuir quando chegasse a atingir 4,09, obtido através da equação $y = 0,0000000535x^2 - 0,0006721357x + 6,2018000000$ com $R^2 = 0,99$.

Os valores de pH da rizosfera variaram de 6,28 no tratamento sem adição de alumínio até 4,11 no tratamento com 5000 kg ha⁻¹. Os valores de pH do solo e pH da rizosfera quando comparados na mesma dosagem de alumínio aplicado não foram diferentes entre si nas duas variáveis (dados não apresentados). Utilizando a análise de regressão foi estimado que a partir da dosagem 4963,57 Kg ha⁻¹ de alumínio, o pH parou de diminuir quando chegou a atingir 4,16, obtido através da equação $y = 0,0000000848x^2 - 0,0008418214x + 6,2503571429$ com $R^2 = 0,99$.

Figura 1: pH do solo e da rizosfera no vaso cultivado com plântulas de sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.) submetidas a diferentes doses de sulfato de alumínio comercial¹ (Experimento 1)

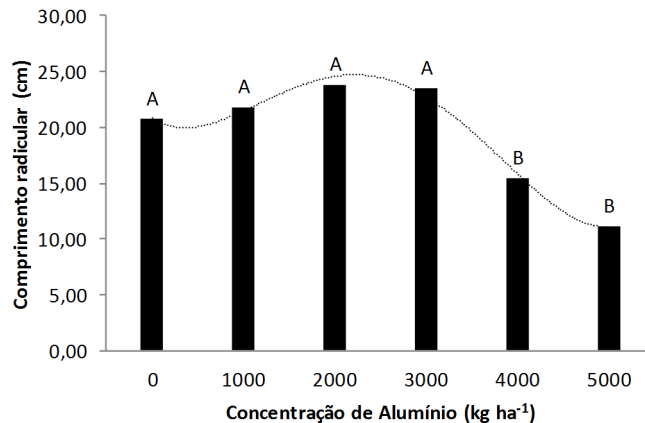


Fonte: Os autores.

¹ Médias seguidas de letras iguais no mesmo parâmetro, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%). CVsolo = 3,12% e CVrizosfera = 4,03%.

Ainda analisando o experimento 1 (ver Figura 2), com relação ao comprimento radicular, não ocorreu diferença entre o solo sem aplicação de alumínio até a dosagem de 3000 kg ha⁻¹. A maior média do comprimento radicular foi obtida na dosagem de 2000 kg ha⁻¹ de alumínio adicionado com 23,81 cm e a menor média foi de 11,4 cm obtida na dosagem de 5000 kg ha⁻¹ aos 23 dias após o plantio. Pode ser observado que até ocorreu um pequeno aumento do comprimento nas dosagens de 2000 e 3000 kg ha⁻¹. Os menores comprimentos foram encontrados nos tratamentos com as maiores concentrações de alumínio adicionado ao solo (4000 e 5000 kg ha⁻¹), porém estas dosagens não diferiram entre si (ver Figura 2). A equação de regressão que melhor representou a distribuição dos dados do comprimento radicular foi uma polinomial de quarto grau, sendo, portanto mais difícil estabelecer o ponto de inflexão da distribuição dos dados.

Figura 2: Comprimento radicular de plântulas de sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.) submetidas a diferentes doses de sulfato de alumínio comercial (Experimento 1)²

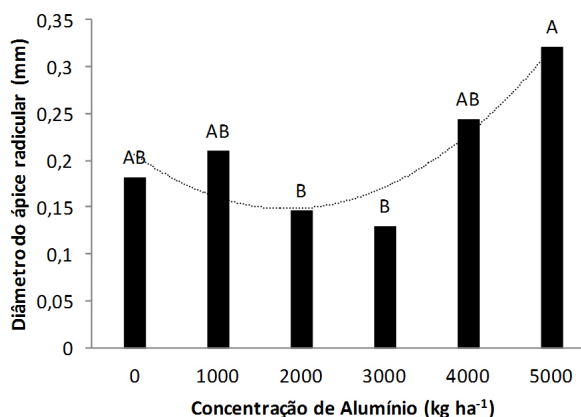


Fonte: Os autores.

Na ponta da raiz das plântulas de sombreiro, na análise do diâmetro do ápice radicular, não foram encontradas diferenças entre os tratamentos com alumínio e sem até a dosagem de 4000 kg ha⁻¹ (ver Figura 3). A única diferença encontrada foi entre as dosagens de 2000 e 3000 kg ha⁻¹, com 5000 kg ha⁻¹. As dosagens intermediárias parecem ter favorecido a planta a produzir um diâmetro radicular (menor), embora fique claro que a maior dosagem produziu o maior diâmetro de ponta de raiz, resultado coerente com os dados do comprimento radicular, indicando efeito de toxidez na raiz de plântulas desta espécie. Uma equação de segundo grau foi encontrada podendo ser inferido que no menor ponto de inflexão da equação, o valor do diâmetro da ponta da raiz possui o valor de 0,148 mm, e tendo a dosagem de alumínio adicionado correspondente de 1846,68 kg ha⁻¹, significando que até esta dosagem o elemento exerceu pouco efeito nas condições morfofisiológica da raiz com a equação de regressão: $y = 0,0000000171x^2 - 0,0000631563x + 0,2064182143$ e $R^2 = 0,80$.

² Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Tukey (5%), CV = 13,28%. Experimento 1. Equação de regressão: $y = 0,00000000000003x^4 - 0,0000000030465x^3 + 0,0000082375408x^2 - 0,0048231653969x + 20,7748823809130$ com $R^2 = 0,98$.

Figura 3: Diâmetro do ápice radicular de plântulas de sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.) submetidas a diferentes doses de sulfato de alumínio comercial (Experimento 1)³



Fonte: Os autores.

No experimento 2, nas análises estatísticas realizadas nos dados das raízes das plântulas de sabiá, pode ser observado que a concentração de alumínio e o tipo de solo exerceram efeito na massa seca de raízes (ver Tabela 1). No Planossolo é que ocorreu uma redução de massa com o aumento da concentração de alumínio, isto não ocorreu no Argissolo. Os dados de comprimento e diâmetro de raízes não foram influenciados pela concentração de Al nem pelo tipo de solo. As equações que mais se ajustaram aos dados de comprimento e diâmetro das raízes foram de terceiro grau para os dois tipos de solo, dificultando a interpretação dos dados.

Tabela 1: Análise de variância ($Pr \geq F$) dos dados médios de comprimento, massa seca e diâmetro das raízes de plântulas de sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* B.) crescidas em dois solos (Planossolo e Argissolo) com diferentes concentrações de alumínio (0, 1000, 2000, 3000 e 4000 Kg ha⁻¹) (Experimento 2)

| Concentração de Al (Kg ha ⁻¹) | Solo | | | | | |
|---|-----------------------------|-----------|--|-----------|--------------------------|-----------|
| | Planossolo | Argissolo | Planossolo | Argissolo | Planossolo | Argissolo |
| | Comprimento das raízes (cm) | | Massa seca das raízes (mg planta ⁻¹) | | Diâmetro das raízes (mm) | |
| 0 | 23,33 | 17,17 | 119 | 163 | 0,086 | 0,097 |
| 1000 | 24,38 | 24,88 | 124 | 261 | 0,119 | 0,110 |
| 2000 | 24,71 | 26,52 | 131 | 248 | 0,127 | 0,108 |
| 3000 | 21,83 | 22,38 | 99 | 90 | 0,103 | 0,100 |
| 4000 | 23,04 | 26,58 | 78 | 178 | 0,112 | 0,092 |
| CV% | 18,71 | | 41,13 | | 21,99 | |
| Pr>F | | | | | | |
| Conc. de Al | 2,068 ^{ns} | | 3,731** | | 1,668 ^{ns} | |
| Tipo de solo | 0,001 ^{ns} | | 15,887** | | 1,218 ^{ns} | |
| Conc. de Al x Tipo de solo | 1,409 ^{ns} | | 1,881 ^{ns} | | 0,593 ^{ns} | |

^{ns} Não Significativo. * e ** significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

Fonte: Os autores.

³ Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste Tukey (5%), CV = 38,84%. Experimento 1. Equação de regressão: $y = 0,0000000171x^2 - 0,0000631563x + 0,2064182143$ com $R^2 = 0,80$.

Pela análise de variância realizada no experimento 3, os dados médios do comprimento, massa seca e diâmetro das plântulas de acácia, não foram influenciados pelos tratamentos, somente o diâmetro sofreu efeito do tipo de solo (ver Tabela 2). Para os dados de comprimento e diâmetro do ápice das raízes foram realizadas análises de regressões sendo obtidas as equações que mais se ajustam aos dados. Para o comprimento das raízes em Planossolo foi estimado que a partir da dosagem 1442,72 Kg ha⁻¹ de alumínio, o comprimento das raízes parou de diminuir quando chegou a atingir 24,73 cm, obtido através da equação $y = -0,0000015330x^2 + 0,0044233929x + 21,5439285714$ com $R^2 = 0,96$, no argissolo a equação que mais adequada foi obtida através de uma equação de quarto grau. Para o diâmetro do ápice das raízes em Planossolo a equação que mais se ajusta é a de quarto grau e em Argissolo é uma de terceiro grau, dificultando a interpretação de dados. A análise isolada no tipo de solo indicou que o solo influenciou o diâmetro do ápice radicular, com maiores valores encontrado no Planossolo 0,101 mm e 0,074 mm Argissolo, indicando uma possível melhor adaptação desta espécie em solo Argissolo.

Tabela 2: Análise de variância (**Pr>F**) dos dados médios de comprimento, massa seca e diâmetro das raízes de plântulas de acácia (*Acacia mangium* W.) crescidas em dois solos (Planossolo e Argissolo) com diferentes concentrações de alumínio (0, 1000, 2000, 3000 e 4000 Kg ha⁻¹)(Experimento 3)⁴

| Concentração de Al (Kg ha ⁻¹) | Tipo de solo | | | | | |
|---|-----------------------------|-------|--|-------|--------------------------|-------|
| | Planossolo | | Argissolo | | Argissolo | |
| | Comprimento das raízes (cm) | | Massa seca das raízes (mg planta ⁻¹) | | Diâmetro das raízes (mm) | |
| 0 | 21,06 | 16,50 | 16,00 | 18,00 | 0,082 | 0,085 |
| 1000 | 25,65 | 21,81 | 26,00 | 29,00 | 0,121 | 0,080 |
| 2000 | 23,50 | 16,86 | 30,00 | 17,00 | 0,139 | 0,061 |
| 3000 | 20,81 | 21,56 | 25,00 | 35,00 | 0,082 | 0,075 |
| 4000 | 14,94 | 18,94 | 14,00 | 27,00 | 0,080 | 0,069 |
| CV% | 25,263 | | 40,776 | | 34,617 | |
| Pr>F | | | | | | |
| Conc. de Al | 2,011 ^{ns} | | 2,549 ^{ns} | | 1,289 ^{ns} | |
| Tipo de solo | 1,631 ^{ns} | | 1,170 ^{ns} | | 7,946 ^{**} | |
| Conc. de Al x Tipo de solo | 1,445 ^{ns} | | 2,259 ^{ns} | | 2,317 ^{ns} | |

Fonte: Os autores.

As concentrações de alumínio nas condições testadas, não influenciaram o peso da massa seca das raízes e parte aérea e o comprimento da parte aérea de plântulas de sombreiro (Dados não tabelados). Entretanto, a parte aérea das plântulas de sábia foram reduzidas pela adição de alumínio. A adição de alumínio não influenciou os valores de pH(s) do solo da rizosfera e do solo, nos experimentos de sabia e acácia, mas isso aconteceu para o sombreiro.

⁴ns Não Significativo. * e ** significativo pelo teste F, a 5 e 1% de probabilidade, respectivamente.

4 DISCUSSÃO

O alumínio é um elemento conhecido por causar toxidez nas plantas podendo levar à morte quando em altas concentrações e quando as plantas são mais sensíveis a sua presença no solo. Com o objetivo de se reduzir o crescimento e desenvolvimento de plantas muito utilizadas na arborização urbana foi utilizado por Polese (2013) o alumínio como possível inibidor de crescimento em *Delonix regia* (Bojerex Hook.) Raf., o flamboyant. Neste presente estudo foram utilizadas as espécies arbóreas *Clitoria fairchildiana* Howard., *Mimosa caesalpinifolia* Benth. e *Acacia mangium* Willd. A hipótese levantada foi a de que se houvesse necessidade, seria possível diminuir o crescimento destas plantas adicionando alumínio e observando o seu grau de tolerância a ele, especialmente induzindo uma toxidez moderada, sem levá-la a morte. Isso só seria válido para plantas crescidas em ambiente confinado, tipo vasos, tanque em ruas e praças, o que ocorre comumente em meio urbano. Neste presente trabalho, ocorreram diferenças de respostas em relação a espécie vegetal e também quanto ao solo. Este resultado dificulta a hipótese de utilizar o sulfato de alumínio, como indutor de redução de crescimento de plantas. Entretanto, os resultados são ainda preliminares e necessitam de maiores estudos.

Por exemplo, aqui funcionou diminuindo o comprimento e o diâmetro radicular sombreiro como encontrado por Polese (2013) em Flamboyant, mas não funcionou para sabiá e acácia. Lemos (2015) encontrou efeito da adição de sulfato de alumínio no solo, direto nos vasos de mudas de Oitis, diminuindo a brotação após a poda. O produto utilizado neste estudo, sulfato de alumínio comercial, pode ser comprado facilmente em casas de limpeza de piscinas por um preço, relativamente barato, é uma técnica facilmente utilizada nas ruas, de baixo custo/benefício e com um produto que não causa toxidez ao homem e ao ambiente, evitando assim, que sejam realizadas sucessivas podas nas árvores urbanas dessas espécies e aumento nos gastos das empresas do setor elétrico, por exemplo. Trabalhos utilizando alumínio nessas espécies de pouco interesse econômico são raros na literatura (POLESE, 2013). Também deve considerado que a resistência ao alumínio de uma planta jovem é associada ao seu material genética, independentemente de sua idade, sendo a tolerância jovem a mesma ou similar quando a planta for adulta (GARLAND-CAMPBELL; CARTER, 1990).

Estudos de mecanismos de tolerância ao alumínio em espécies florestais são encontrados com maior frequência, especialmente na fase jovem da planta ou em plântulas, envolvendo exsudação de compostos orgânicos (BRUNNER; SPERISEN, 2013). Em plântulas de duas espécies de poplar (*Populus tremuloides* e *Populus trichocarpa*), o alumínio induziu a exsudação de três compostos pelas raízes, o citrato, o malato e o oxalato (NAIK et al., 2009). Situação similar foi encontrada em duas espécies de árvores coníferas, *Cryptomeria japonica* e *Pinus thunbergii* (HIRANO; FREY; BRUNNER, 2012). Compostos fenólicos foram exsudados por *Eucalyptus camaldulensis* e duas espécies de *Melaleuca* quando tratadas com alumínio (NGUYEN et al., 2003). Esses estudos indicam que plantas nativas florestais em solos ácidos promovem diferentes mecanismos de defesa contra o estresse causado pelo alumínio no solo.

O efeito do alumínio na planta está diretamente ligado ao pH do meio (BRUNNER; SPERISEN, 2013). Neste presente trabalho, o comprimento e o diâmetro do ápice da raiz foram os fatores usados para caracterizar a toxidez de alumínio na planta como sugerido por vários autores (FOY et al., 1978; KOCHIAN, 1995; SILVA, 2013). De uma forma geral, pode-se observar que ocorreu

redução no pH do solo e no pH da rizosfera quando foram adicionadas elevadas concentrações de alumínio comercial (Sulfato de Alumínio) aplicado ao solo. Os efeitos fitotóxicos causados pelo alumínio nas plantas são condicionados a diversos fatores, dependendo do tipo de solo ou substrato e principalmente dos valores de pH do solo, concentração salina, compostos orgânicos e da espécie vegetal (FOY et al., 1978). O pH na rizosfera pode variar de acordo com o desequilíbrio eletroquímico das células, ocorrendo liberações de íons como o H^+ (acidificando o ambiente) ou OH^- (basificando o ambiente) ou de acordo com a fonte de nitrogênio predominante no solo (RAVEN et al., 1990; CARVALHO; JACOB NETO; CARMO, 2005). Lemos (2010), observou em seu estudo com diferentes fontes de nitrogênio em feijoeiro, que na presença de NO_3^- , a planta liberava OH^- e na presença de NH_4^+ a planta liberava H^+ na rizosfera, ou seja, basificando e acidificando, respectivamente o ambiente ao seu redor.

Normalmente existe uma grande variação nos valores entre o pH da rizosfera e o pH do solo. No presente trabalho, não foi possível observar tamanha variação que pode chegar a 1,0 ponto para cima ou para baixo entre os valores do pH. Provavelmente isso ocorreu devido à ausência de diferentes fontes de nitrogênio (NO_3^- ou NH_4^+) no solo, que não recebeu adubação e contou com os íons presentes naturalmente do solo (CARVALHO; JACOB NETO; CARMO, 2005; LEMOS, 2010). Entretanto, neste trabalho o provável poder tampão natural do Argissolo impediu que diferenças mais marcantes fossem observadas na comparação do pH do solo com o pH da rizosfera, fato que ficou mais nítido no tratamento com Planossolo, fato também observado também por Macedo (2010) e Lemos (2010).

A influência do alumínio na toxidez da planta pode afetar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular e interferir na absorção de nutrientes e água, reduzindo a produtividade de culturas de interesse econômico em solos com a presença de alumínio (FOY et al., 1978). A toxidez causada pelo alumínio no sistema radicular pode ser observada tanto no comprimento das raízes, quanto no diâmetro do ápice radicular e alteração na sua coloração. Em altas concentrações de alumínio disponíveis no solo podem inibir a formação normal das raízes, aumentando o seu diâmetro, diminuindo o seu tamanho, deixando-as com uma coloração escura, menos ramificada e mais frágil (FOY et al., 1978; SILVA, 2013).

Dentre as plantas testadas, o sombreiro (experimento 1), nas condições ambientais do estudo, parece ser a espécie que mais sofreu influência da adição de alumínio no Planossolo. Embora no comprimento das raízes só tenha ocorrido diferença significativa a partir de 4000 kg ha^{-1} de alumínio comercial aplicado, o diâmetro do ápice radicular também aumentou, apresentando o maior valor na maior dosagem de alumínio (5000 kg ha^{-1}). Utilizando a equação de regressão, doses a partir de $1846,68 \text{ kg ha}^{-1}$ de alumínio já começaram a engrossar as pontas das raízes. Não foi encontrado trabalho na literatura relacionando toxidez de alumínio e a planta sombreiro.

As plântulas de sabiá (experimento 2) parecem não ter sofrido efeito tóxico na presença do alumínio, visto que nas dosagens mais baixas, 1000 e 2000 kg ha^{-1} , as plântulas apresentaram maiores comprimentos e massa das raízes, apesar de também apresentarem os maiores diâmetros nessas concentrações. Segundo Foy e outros (1978) e Salvador e outros (2000), o alumínio em baixas concentrações pode ser benéfico a algumas espécies de plantas em determinadas situações, estimulando o seu crescimento. Esta espécie não sofreu toxidez na aplicação de Al no solo mesmo nas maiores dosagens, comprovando sua utilização em áreas degradadas, com solos pouco férteis e presença do Al, por apresentarem características mais rústicas.

A espécie acácia é a mais estudada com relação ao seu estado nutricional (GOI et al., 1992; COLE et al., 1996; JACOB NETO; GOI; SPRENT, 1998). Segundo Cole e outros (1996), 12 espécies de acácias foram estudadas e associadas a diferentes níveis de fertilidade, destas, as espécies *A. cincinnata*, *A. crassicarpa* e *A. mangium* foram recomendadas para solos inférteis, com alumínio e ácidos. Neste presente trabalho e condições de crescimento, a espécie *A. mangium* (experimento 3), não sofreu efeitos significativos de toxidez de alumínio com aumento da dose deste elemento no solo, concordando com o trabalho de Cole e outros (1996), especialmente no Argissolo. No solo mais arenoso (Planossolo) o alumínio adicionado parece ter causado efeito no comprimento radicular, a dosagem tóxica de alumínio a ser adicionada ao solo foi com acácia crescendo foi de mais de 1440 Kg ha⁻¹ de alumínio. Esta, portanto seria a dose que deveria ser utilizada para começar a causar toxidez de uma planta de acácia plantada em um ambiente confinado, porém estatisticamente não correu diferença nos tratamentos realizados. Isto só pode ser assumido se for ser adotado a observação de Garland-Campbell e Carter (1990) que relatou que um vez a plântula sendo tolerante ao alumínio, a planta adulta também seria. Esta observação tem sido amplamente utilizada nos processos de seleção de planta anuais tolerantes ao alumínio, mas não sendo encontrado na literatura informações a respeito de plantas arbóreas. No ápice radicular, que geralmente engrossam com a toxidez de alumínio, não foi possível realizar correlação dos dados, pois estes não ficaram claros, corroborando com os resultados de Vale e outros (1996), afirmando que *A. mangium* tem o crescimento menos afetado em condições de solos ácidos e mais tolerantes ao Al.

Não ocorreram diferenças significativas nos dados do comprimento da parte aérea e do peso seco da parte aérea na presença de alumínio no solo em plântulas de sombreiro, acácia e sabiá. Em acácia ocorreu uma leve tendência de aumentar o comprimento e massa seca da parte aérea nas dosagens medianas e de reduzir na maior concentração de alumínio aplicada, o que poderá caracterizar a planta com determinado grau de tolerância ao alumínio ou o efeito benéfico que o alumínio pode proporcionar a algumas espécies em concentrações baixas como foram estudados por Foy e outros (1978) e Salvador e outros (2000). Em plântulas de sabiá o efeito foi similar, principalmente no Planossolo. Mesmo em pH baixo de 3,5, *Pinus pinaster* aumentou a sua massa seca (ARDUINI et al., 1998) assim como em plantas de gengibre (ISLAM; EDWARDWS; ASHER, 1980). Esse aumento de massa seca pode ocorrer quando a taxa de divisão celular aumenta (VANGELISTI et al., 1995).

As plântulas de sombreiro não apresentaram nenhuma tendência para essas características da parte aérea, seu efeito tóxico foi detectado no sistema radicular. Os sintomas de toxidez causados pela presença do alumínio na parte aérea da planta são considerados secundários. Segundo Beutler, Fernandes e Faquin (2001), quando o alumínio está em grandes quantidades e com condições ambientais favoráveis, pode se acumular no sistema radicular e pode ser transcolado 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 (ROSSIELLO; JACOB-NETO, 2006) e redução do seu comprimento e massa seca (SIVAGURU; PALIWAL, 1993). Pelas razões expostas acima, foi dado maior ênfase nos parâmetros de comprimento radicular e diâmetro de raiz, onde foram realizadas análises de regressão para compreensão dos possíveis valores de toxidez.

De acordo com o tipo de solo, as plântulas podem se comportar de forma diferente. Quando cultivadas em Planossolo, as três espécies estudadas neste trabalho (sombreiro, sabiá e acácia), apresentaram respostas diferentes na presença de altas concentrações de alumínio. Resultados semelhantes foram encontrados por Polese (2013), que observou que aplicação de 400 kg ha⁻¹ de sulfato de alumínio (PA e comercial), pode reduzir o crescimento de plântulas de flamboyant cultivadas em Planossolo. Quando cultivadas em Argissolo, nas mesmas condições ambientais, as plântulas estavam menos suscetível à toxidez causada pelo alumínio, provavelmente devido à alta adsorção de Al pelos colóides e argilas de baixa atividade que complexam o Al. No presente trabalho, as plântulas crescidas em Argissolo apresentaram maiores massas e comprimentos quando comparadas às plântulas cultivadas em Planossolo. Vale ressaltar que em ambos os solos estudados não foram adicionados outros nutrientes, estando as plântulas sujeitas às concentrações de nutrientes natural do solo, simulando o que geralmente ocorre no plantio de mudas em áreas urbanas no Brasil.

Poucos estudos foram encontrados na literatura com essas espécies de uso urbano, e os resultados preliminares encontrados neste trabalho sugerem que mais estudos devem ser realizados para maior esclarecimento da toxidez de alumínio principalmente na espécie *Clitoria fairchildiana* (sombreiro), já que as espécies *Acacia mangium* (acácia) e *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) apresentam certa tolerância ao Al.

5 CONCLUSÕES

A espécie arbórea *C. fairchildiana* (sombreiro) foi a mais afetada pelo alumínio apresentando sintomas de toxidez nas maiores concentrações aplicadas.

As espécies arbóreas *A. mangium* (acácia) e *M. caesalpinifolia* (sabiá) foram mais tolerantes a toxidez de alumínio do que o sombreiro, mas há diferença de comportamento em relação ao tipo de substrato de crescimento, no solos Planossolos ocorre maior toxicidade do que no Argissolo, nas condições testadas.

REFERÊNCIAS

ARDUINI, L. et al. pH influence on root growth and nutrient uptake of *Pinus pinaster* seedlings. **Chemosphere**, Amsterdam, v. 36, p. 733-738, 1998

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.

BRUNNER, I.; SPERISEN, C. Aluminum exclusion and Aluminum tolerance in woody plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 172, p. 1-12, Jun. 2013.

CARVALHO, A. O.; JACOB NETO, J.; CARMO, M. G. F. Colonização de raízes de tomateiro por *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* em solução nutritiva com três fontes de nitrogênio. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, DF, v. 30, p. 26-32, 2005.

COLE, T. G. et al. Growth potential of twelve Acacia species on acid soils in Hawaii. **Forest Ecology and Management**, New South Wales, v. 80, p. 175-186, 1996.

CRONAN, C. S.; GRIGAL, D. F. Use of calcium/aluminum ratios as indicators of stress in forest ecosystems. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 24, p. 209-226, 1995.

DONOVAN, G. H.; BUTRY, D. T. The value of shade: estimating the effect of urban trees on summertime electricity use. **Energy and Buildings**, Florence, v. 41, p. 662-668, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análise de solo**: centro nacional de pesquisa de solos. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997.

FOY, C. D. et al. The physiology of metal toxicity in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566, 1978.

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

GOI, S. R. et al. Influence of nitrogen form on the nitrogen fixation of Acacia auriculiformis. **Symbiosis**, Philadelphia, v. 82, p. 505-512, 1992.

HIRANO, Y.; FREY, B.; BRUNNER, I. Contrasting reactions of roots of two coniferous tree species to aluminum stress. **Environ. Exp. Bot.**, Oulu, v. 77, p. 2-18, 2012.

HODSON, M. J.; EVANS, D.E. Aluminium/silicon interactions in higher plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 46, n. 2, p. 161-171, 1995.

ISLAM, A. K. M. S.; EDWARDS, D. G.; ASHER, C. J. pH optima for crop growth: result of flowing solution culture experiment with six species. **Plant soil**, Crawley, v. 54, p. 339-357, 1980.

JACOB NETO, J.; GOI, S. R.; SPRENT, J. I. Efeito de diferentes formas de nitrogênio na nodulação e crescimento de Acacia mangium. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 5, n. 1, p. 104-110, 1998.

JIM, C. Y.; CHEN, W. Y. Ecosystem services and valuation of urban forests in China. **Cities**, Washington, v. 26, n. 4, p. 187-194, 2009.

KAPLAN, S.; R. KAPLAN. Creating a larger role for environmental psychology: the reasonable person model as an integrative framework. **Journal of Environmental Psychology**, Victoria, v. 29, n. 3, p. 329-339, 2009.

KOCHIAN, L. V. Cellular mechanism of aluminum toxicity and resistance in plants. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Molec. Biol.**, York, v. 46, p. 237-260, 1995.

KOPITKE, P. M. et al. Identification of the primary lesion of toxic aluminum in plant roots. **Plant Physiol**, Rockville, v. 167, n. 4, p. 1402-1411, 2015.

LAFORTEZZA, R. et al. Benefits and well-being perceived by people visiting green spaces in periods of heat stress. **Urban Forestry & Urban Greening**, Alnarp, v. 8, n. 2, p. 97-108, 2009.

LEMOS, J. J. **Influência de diferentes fontes de nitrogênio no processo de infecção de plantas de feijoeiro por fusarium oxysporum f. sp. phaseoli**. 2010. 69 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2010.

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**. 2015. 170 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

MACEDO, R. A. T. de. **Efeitos da Extrusão de H⁺/OH⁻ em plantas de feijão devido ao Metabolismo de diferentes fontes de nitrogênio sobre o início da formação de nódulos radiculares**. 2010. 118 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

MCPHERSON, E. G. et al. **Journal of Forestry**, Bathesda, v. 103, p. 411-416, 2005.

MCPHERSON, E. G.; MUCHNICK, J. Effects of street tree shade on asphalt concrete pavement performance. **Journal of Arboriculture**, Champaign, v. 31, n. 6, p. 303-310, 2005.

NAIK, D. et al. Rhizosphere carbon deposition, oxidative stress and nutritional changes in two poplar species exposed to aluminum. **Tree Physiol**, Oxford, v. 29, p. 423-436, 2009.

NGUYEN, N. T. et al. Role of exudation of organic acids and phosphate in aluminum tolerance of four tropical woody species. **Tree Physiology**, Oxford, v. 23, p. 1041-1050, 2003.

POLESE, V. **Efeito de inibidores de crescimento e do tipo de poda em plantas utilizadas na arborização**. 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

RAMOS, D. P.; CASTRO, A. F.; CAMARGO, M. N. Levantamento detalhado de solos da área da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 8, p. 1-27, 1973.

RAVEN, J. A. et al. H⁺ extrusion and organic-acid synthesis in N₂-fixing symbioses involving vascular plants. **New Phytol.**, Lancaster, v. 114, n. 3, p. 369-389, 1990.

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: Sociedade Brasileira de Ciência de Solos, 2006. p. 42-68.

SALVADOR, J. O. et al. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira Ciência de Solo**, Viçosa, v. 24, p. 787-796, 2000.

SILVA, A. C. **Influência do balanço iônico na toxidez de alumínio, estresse de salinidade e associação com *Thricoderma sp.*** 2013. 148 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

SIVAGURU, M.; PALIWAL, K. Differential aluminum tolerance in some tropical rice cultivars: mechanism of aluminum tolerance. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, p. 1717-1732, 1993.

SUGIYAMA, T.; LESLIE, E., and GILES-CORTI, B. Associations of neighbourhood greenness with physical and mental health: do walking, social coherence and local social interaction explain the relationships?. **Journal of Epidemiology and Community Health**, London, v. 62, n. 5, p. 9, 2008.

TROY, A.; GROVE, J. M. Property values, parks, and crime: a hedonic analysis in Baltimore, MD. **Landscape and Urban Planning**, Michigan, v. 87, n. 3, p. 233-245, 2008.

VALE, F. R. do et al. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 9, p. 609-616, 1996.

VANGELISTI, R. et al. Responses of pinus pinea and pinus pinaster seedling roots to substrata at different pH values. **Annual botany fennici**, Helsinki, v. 32, p. 19-27, 1995.

VASCONCELOS, S. S. et al. Parâmetros morfológicos para estabelecer tolerância diferencial à toxicidade de alumínio em cultivares de arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 3, p. 357-363, 2002.

VILLARINHO, F. M. et al. Avaliação da opinião pública sobre a arborização do bairro de Jacarepaguá (Freguesia, Município do Rio de Janeiro, RJ). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 9., 2005, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, MG, 2005. p. 85-91.

Recebido em: 30 mar. 2016.

Aprovado em: 30 mar. 2016.