

**UFRRJ**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**DISSERTAÇÃO**

**Toxidez Do Alumínio e Eficiência de Diferentes  
Tipos de Poda em *Bauhinia variegata* L.**

**Alessandra de Lima Machado**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**TOXIDEZ DO ALUMÍNIO E EFICIÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS  
DE PODA EM *Bauhinia variegata* L.**

**ALESSANDRA DE LIMA MACHADO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Jorge Jacob Neto**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, área de concentração em Fisiologia da Produção.

Seropédica, RJ  
Fevereiro, 2015

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO**  
**INSTITUTO DE AGRONOMIA**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**ALESSANDRA DE LIMA MACHADO**

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia, área de concentração em Fisiologia da Produção.

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APROVADA EM \_\_/\_\_/2015

---

Jorge Jacob Neto. (Ph.D.) UFRRJ  
(Orientador)

---

Nivaldo Schultz (Dr.) UFRRJ

---

Jean Luiz Simões de Araújo (Dr.) EMBRAPA/Agrobiologia

631.542

M149t

T

Machado, Alessandra de Lima, 1977-  
Toxidez do alumínio e eficiência  
de diferentes tipos de poda em  
*Bauhinia variegata L.*/ Alessandra de  
Lima Machado - 2015.  
40 f.: il.

Orientador: Jorge Jacob Neto.  
Dissertação (mestrado) -  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro, Curso de Pós-Graduação em  
Fitotecnia.

Bibliografia: f. 34-40.

1. Poda - Teses. 2. Arborização  
das cidades - Teses. 3. Alumínio -  
Teses. 4. Fitotecnia - Teses. I.  
Jacob Neto, Jorge, 1955-. II.  
Universidade Federal Rural do Rio de  
Janeiro. Curso de Pós-Graduação em  
Fitotecnia. III. Título.

*“Apesar das ruínas e da morte,  
Onde sempre acabou cada ilusão,  
A força dos meus sonhos é tão forte,  
que de tudo renasce a exaltação  
E nunca as minhas mãos ficam vazias”.*  
*(Sophia de Mello Breyner Andresen)*

Ao meu pai, Jorge dos Anjos Machado (*in memoriam*),

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

Entendo o aprendizado como um processo de mudança, pois quem cresce e evolui, necessariamente, muda. Eu mudei e por isso tenho muito a agradecer.

Agradeço aos **professores** e aos **funcionários** do curso de Pós-graduação em Fitotecnia da UFRRJ.

À CAPES pela bolsa concedida.

Ao professor **Jorge Jacob Neto** pela dedicação, empenho, pelo tempo extra dedicado, pelos ensinamentos e pela confiança.

À equipe do laboratório de Química da Rizosfera, pelo apoio técnico, intelectual e moral. Pela amizade, mais do que gratidão, têm de mim o mais sincero carinho: **Aldir Carlos, Joice Lemos, Juçaria Souza, Nubia Mezzavilla e Thamara Mendonça.**

À colega de estudos **Valéria Polese**, pelas informações técnicas.

Ao funcionário **Marcos** pelos conhecimentos compartilhados e pelo apoio técnico.

Aos amigos de sempre e meus inspiradores nesta missão, **Karla Emanuelle e Carlos Vergara.**

Ao amigo e grande apoiador **Hercides Júnior.**

Ao amigo **Tiago Andrade**, pela diversão e pela singular contribuição no momento de conclusão deste trabalho.

Ao **Martin Dietzius** pela dedicação e carinho no início das atividades de estudo.

A todos os amigos que de alguma forma contribuíram para o sucesso deste trabalho.

Em especial, ao meu irmão **Jorge Alexandre** pelo apoio e pelo “patrocínio”. À minha mãe **Glória** e minha irmã **Adriana** pelo apoio, mas sobretudo por perdoarem minha ausência quando ela foi tão cara. Ao meu pai **Jorge**, que me ensinou desde cedo a sonhar, e mesmo não podendo me ver apoiou orgulhosamente as minhas escolhas

A **Deus** pela graça da vida entre amigos!

*“Quando não tivermos nada  
Além da força do amor,  
Nós teremos dentro das mãos,  
Amigos, o mundo inteiro”.*

*(Jacques Brel)*

## RESUMO

MACHADO, Alessandra de Lima. **Toxidez do alumínio e eficiência de diferentes tipos de poda em *Bauhinia variegata* L.** 2015. 40p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

A avaliação da toxidez causada pelo alumínio (Al) em árvores utilizadas na arborização urbana é de grande importância para o desenvolvimento de mudas e plantios em condições adequadas. A espécie arbórea *Bauhinia variegata* L., é comumente utilizada na arborização de urbana, sendo necessário o conhecimento das suas exigências nutricionais e dos conflitos relacionados à presença das árvores nas ruas, como, por exemplo, a interferência nas redes de distribuição de energia elétrica. A poda é a principal prática de manejo realizada nas árvores plantadas nas ruas. A otimização do processo de podas pode gerar benefícios como menor frequência de podas, menor custo e maior eficiência, especialmente para o setor elétrico. Os objetivos deste trabalho foram avaliar a influência do Al no desenvolvimento de mudas de *Bauhinia variegata*, e analisar a eficiência de diferentes tipos de corte em poda associado ou não ao uso de Al, de modo a diminuir brotações. Estes estudos foram desenvolvidos em duas etapas, resultando assim em dois capítulos. O primeiro, relacionado diretamente à nutrição mineral, com o estudo direcionado à investigação dos efeitos da toxidez do Al no crescimento e desenvolvimento de raízes. Foram realizados experimentos em solução nutritiva simples e completa e em substrato de solo ácido. O segundo capítulo apresenta o estudo de avaliação da eficiência de diferentes tipos de corte em podas realizadas em plantas adultas de *Bauhinia variegata*, com e sem a utilização de Al como inibidor de crescimento. Os resultados indicaram que esta espécie é sensível à toxidez do Al a partir da concentração de 50  $\mu\text{M}$ , sendo observada diminuição na taxa de crescimento radicular e na alongação radicular relativa. As doses crítica de Al que paralisaria o crescimento radicular foram de 151,48  $\mu\text{M}$  de Al em solução nutritiva simples e de 388,72  $\mu\text{M}$  de Al em solução nutritiva completa. O Al provocou aumento do diâmetro das raízes de mudas a partir da concentração em solução de 400  $\mu\text{M}$ . A aplicação de calcário em solo ácido favoreceu o crescimento de plantas de *Bauhinia variegata*, resultando em maiores valores de peso de massa seca de raiz e peso de massa seca de parte aérea. Quando a poda foi realizada rente ao tronco principal e com aplicação de Al não foram observadas brotações até a última avaliação, aos 210 dias após a poda. Na poda realizada rente ao tronco principal sem aplicação de Al ocorreram brotações. Nas podas deixando toco de 20 e 40 cm, com ou sem aplicação de Al, ocorreram brotações.

**Palavras-chave:** alumínio, arborização urbana, poda.

## ABSTRACT

MACHADO, Alessandra de Lima. **Toxicity of aluminum and efficiency of different types of pruning in *Bauhinia variegata* L.** 2015. 40p. Dissertation (Master in Plant Science). Institute of Agronomy, Crop Science Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

The evaluation of toxicity caused by aluminum (Al) trees used in urban forestry is of great importance for the development of seedlings and plantings in appropriate conditions. The tree species *Bauhinia variegata* L. is commonly used in urban afforestation, requiring knowledge of their nutritional requirements and conflicts related to the presence of trees on the streets, for example, interference in the electricity distribution networks. Pruning is the main practice management done on trees planted in the streets. Optimizing the pruning process can generate benefits such as less frequent pruning, lower cost and higher efficiency, especially for the energy sector. The objectives of this study were to evaluate the influence of Al in the development of *Bauhinia variegata* seedlings, and analyze the effectiveness of different types of pruning cut with or without the use of Al, in order to reduce shoots. This study was developed in two stages, resulting in two chapters. The first, directly related to mineral nutrition, with the study aimed to investigate the effects of Al toxicity on growth and root development. Experiments were performed in simple and complete nutrient solution and in acid soil substrate. The second chapter presents the study to assess the effectiveness of different types of pruning cut made in adult plants of *Bauhinia variegata*, with and without the use of Al as a growth inhibitor. The results indicated that this species is sensitive to the toxicity of Al from the concentration of 50  $\mu\text{M}$ , being observed decrease in root growth rate and relative root elongation. The critical dose to paralyze Al root growth were 151,48  $\mu\text{M}$  of Al in simple nutrient solution and 388,72  $\mu\text{M}$  of Al in complete nutrient solution. Al caused increase in the diameter of the roots of seedlings from the concentration at 400  $\mu\text{M}$  solution. The application of limestone in acid soil favored the growth of plants of *Bauhinia variegata*, resulting in higher dry matter weight values of root and shoot dry mass weight. When pruning was held close to the trunk and Al application shoots were not observed until the last evaluation at 210 days after pruning. In pruning held close to the trunk without Al application occurred shoots. In the cuttings leaving stump 20 and 40 cm, with or without the application of Al occurred shoots.

Keywords: aluminum, urban afforestation, pruning.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>01</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>02</b>
2.1 Poda em arborização urbana .....	02
2.2 Descrição da espécie.....	03
2.3 Solos ácidos e toxidez do alumínio.....	03
2.4 Uso de solução nutritiva na avaliação da toxidez do alumínio.....	05
 <b>CAPÍTULO I – AVALIAÇÃO DA TOXIDEZ DO ALUMÍNIO EM <i>Bauhinia variegata</i> L.</b>	
<b>3. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>06</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>07</b>
4.1 Experimento 1: Crescimento radicular inicial de <i>Bauhinia variegata</i> L. em solução nutritiva simples, com concentrações crescentes de alumínio.....	08
4.2 Experimento 2: Crescimento radicular inicial de <i>Bauhinia variegata</i> L. em solução nutritiva completa, com concentrações crescentes de alumínio.....	08
4.3 Experimento 3: Avaliação de sintomas físicos de toxidez do alumínio em mudas de <i>Bauhinia variegata</i> L.....	09
4.4 Experimento 4: Crescimento de mudas de <i>Bauhinia variegata</i> L. em solo ácido, com diferentes doses de calcário, potássio e fósforo.....	10
<b>5. RESULTADOS.....</b>	<b>10</b>
5.1 Experimentos 1 e 2: Crescimento radicular inicial de <i>Bauhinia variegata</i> L. em solução nutritiva simples e completa, com concentrações crescentes de alumínio.....	10
5.2 Experimento 3: Avaliação de sintomas físicos de toxidez do alumínio em mudas de <i>Bauhinia variegata</i> L.....	15
5.3 Experimento 4: Crescimento de mudas de <i>Bauhinia variegata</i> L em solo ácido, com diferentes doses de calcário, potássio e fósforo.....	17
<b>6. DISCUSSÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>7. CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
 <b>CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE PODA, ASSOCIADO AO USO DE ALUMÍNIO COMO INIBIDOR DE CRESCIMENTO.</b>	
<b>8. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>24</b>
<b>9. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>25</b>
9.1 Experimento 5: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento.....	25
<b>10. RESULTADOS.....</b>	<b>27</b>
10.1 Experimento 5: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento.....	27
<b>11. DISCUSSÃO.....</b>	<b>31</b>

11.1 Experimento 5: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento.....	31
<b>12. CONCLUSÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>34</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Aspecto visual de <i>Bauhinia variegata</i> L. Detalhe de flor, folha e fruto.....	3
<b>Figura 2.</b> Taxa de crescimento relativo (TCR) de raízes de <i>Bauhinia variegata</i> L. submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Experimento 1.....	12
<b>Figura 3 .</b> Taxa de crescimento relativo (TCR) de raízes de <i>Bauhinia variegata</i> L. submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva completa. Experimento 2. ....	12
<b>Figura 4.</b> Dados de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de <i>Bauhinia variegata</i> L. submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Experimento 1.....	13
<b>Figura 5.</b> Dados de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de <i>Bauhinia variegata</i> L., submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva completa. Experimento 2.....	13
<b>Figuras 6 AB.</b> Aspecto visual do ápice radicular de plântula de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescida durante 7 dias em solução nutritiva simples. <b>A</b> - tratamento sem Al. <b>B.</b> tratamento na concentração de 200 µM de Al. Experimento 1.....	14
<b>Figuras 7 AB.</b> Aspecto visual das raízes secundárias de plântulas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas durante 15 dias em solução nutritiva completa. <b>A</b> - tratamento na concentração de 150 µM de Al. <b>B.</b> tratamento sem Al. Experimento 2.....	14
<b>Figura 8.</b> Raiz de muda de <i>Bauhinia variegata</i> L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, na ausência de Al. Detalhe da formação lenticelas. Experimento 3.....	16
<b>Figura 9.</b> Raiz de muda de <i>Bauhinia variegata</i> L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, com concentração de 800 µM de Al. Detalhe da formação de mucilagem. Experimento 3.....	16
<b>Figura 10.</b> Raiz de muda de <i>Bauhinia variegata</i> L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, com concentração de 1600 µM de Al. Experimento 3.....	16
<b>Figura 11.</b> Furo realizado após a poda de galho de <i>Bauhinia sp.</i> , deixando toco de 20 cm, e aplicação de solução de solução de cloreto de Al com o uso de seringa. Experimento 5.....	26
<b>Figura 12.</b> Realização de furo com arco de pua e broca para madeira, após a realização de poda com corte rente em galho de <i>Bauhinia variegata</i> L. Experimento 5.....	26

**Figura 13.** Filme plástico cobrindo toco de 20 cm, onde foi aplicada solução de cloreto de Al, após realização de poda em *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.....26

**Figura 14 AB.** Aspecto visual de cicatrização de corte rente, 60 dias após a poda, em *Bauhinia variegata* L. **A.** com aplicação de Al; **B.** sem aplicação de Al.....31

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Análise de variância das taxas de crescimento radicular de plântulas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Experimento 1.....	11
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância das taxas de crescimento radicular de plântulas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Experimento 2.....	11
<b>Tabela 3.</b> Volume de raiz, aumento em volume de raiz (AVR) e aumento em diâmetro de raiz (ADR) em mudas de <i>Bauhinia sp.</i> , cultivadas durante 60 dias em solução nutritiva simples. Experimento 3.....	15
<b>Tabela 4.</b> Análise de variância do comprimento de raiz de plantas de <i>Bauhinia variegata</i> L. (pata-de-vaca) crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.....	17
<b>Tabela 5.</b> Comprimento radicular de plantas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, em função do efeito da interação entre doses de calcário x K. Experimento 4.....	17
<b>Tabela 6.</b> Análise de variância do peso de massa seca de raiz de plantas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.....	18
<b>Tabela 7.</b> Efeito isolado do calcário no peso de massa seca de raiz de <i>Bauhinia variegata</i> L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.....	18
<b>Tabela 8.</b> Análise de variância do comprimento da parte aérea de plantas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.....	19
<b>Tabela 9.</b> Efeito isolado do calcário no comprimento da parte aérea de <i>Bauhinia variegata</i> L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.....	19
<b>Tabela 10.</b> Análise de variância do peso de massa seca de parte aérea de plantas de <i>Bauhinia variegata</i> L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.....	20

<b>Tabela 11.</b> Efeito isolado do calcário no peso de massa seca de parte aérea de <i>Bauhinia variegata</i> L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.....	20
<b>Tabela 12.</b> Análise de variância do número médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de <i>Bauhinia variegata</i> L Experimento 5.....	27
<b>Tabela 13.</b> Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no número de brotos de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	27
<b>Tabela 14.</b> Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no número de brotos por planta de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	28
<b>Tabela 15.</b> Análise de variância do diâmetro médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de <i>Bauhinia variegata</i> L Experimento 5.....	28
<b>Tabela 16.</b> Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no diâmetro de brotos de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	29
<b>Tabela 17.</b> Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no diâmetro de brotos por planta de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	29
<b>Tabela 18.</b> Análise de variância do comprimento médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de <i>Bauhinia variegata</i> L Experimento 5.....	30
<b>Tabela 19.</b> Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no comprimento de brotos de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	30
<b>Tabela 20.</b> Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no comprimento de brotos por planta de <i>Bauhinia variegata</i> L, crescidos após a poda. Experimento 5.....	31

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

As áreas verdes urbanas, historicamente, refletem o modo de viver dos povos que as criaram nas diferentes épocas e culturas. Inicialmente, tinham a função de provocar prazeres sensoriais. A partir do séc. XIX assumem funções utilitárias, principalmente em áreas urbanas densamente povoadas (LOBODA e DE ANGELIS, 2005). Pelo notório desmatamento a que foram submetidas grande parte das cidades brasileiras, as áreas verdes de ruas e parques passam a representar o contato mais próximo da população com a natureza.

A presença das árvores nas ruas proporciona benefícios, tais como: melhoria do microclima, com diminuição da intensidade de ilhas de calor; atenuação da poluição do ar, pela retenção de partículas sólidas e consumo do CO<sub>2</sub> atmosférico; redução da poluição sonora, pois as copas das árvores absorvem a energia sonora impedindo que os sons sejam refletido continuamente. Ambientes arborizados causam sensação de conforto aos habitantes e transeuntes, o que pode ser caracterizado como fator importante para a saúde humana. Historicamente, os habitantes criam uma relação de identidade com a arborização das ruas e bairros, refletindo na sua importância social e cultural (MILANO e DALCIN, 2000; SILVA, 2008; ROSSETTI et al., 2010).

Por outro lado, a arborização urbana pode ser essencialmente antinatural, associa-se à manifestação da cultura e da vontade da população ou de seus gestores, na medida em que se opõe à natureza. Resultados disto são plantios em áreas inadequadas, espécies não indicadas e desatenção às necessidades nutricionais das plantas. São relatados conflitos relacionados à presença das árvores nas ruas e calçadas, principalmente pela interferência destas no mobiliário urbano e pelos riscos de quedas provados por debilidades nutricionais e fitossanitárias. Dentre outros, tem tido destaque a interferência causada nas redes de distribuição de energia elétrica, provocando interrupções no fornecimento de energia e riscos para a população. Para evitar tais problemas, podas são efetuadas periodicamente e, em geral, são realizadas pelas prefeituras e/ou pelas concessionárias de energia elétrica (ROSSETTI et al., 2010; MEDEIROS e DANTAS, 2007; FURLAN, 2004; VELASCO, 2003; CASTRO, 2000; MILANO e DALCIN, 2000; CASTRO, 1998).

Para o sucesso de sua exploração e manutenção em termos ambientais e econômicos, tal qual as espécies agrícolas, as espécies florestais necessitam de práticas corretivas e de nutrição (SORREANO et al., 2013). Nutrição mineral e poda são aspectos fundamentais nos plantios e manutenção das áreas verdes urbanas. No entanto, são ainda poucas as práticas e os estudos destinados à nutrição mineral de espécies florestais (SORREANO et al., 2013; FURTINI NETO, 1999). A poda é o principal manejo realizado, especialmente, nos plantios em vias urbanas sob redes de distribuição elétrica (VELASCO, 2003; SEITZ, 1990).

A espécie objeto deste trabalho é popularmente conhecida como pata-de-vaca. Pertence ao gênero *Bauhinia* que apresenta cerca de 300 espécies, sendo 200 brasileiras. Além do plantio em vias urbanas, diversas destas espécies são utilizadas em áreas de reflorestamento e parques públicos, sendo algumas são utilizadas para fins medicinais (LUSA e BONA, 2009; VAZ e TOZZI, 2005). Tais questões lhe conferem especial atenção, pois são raros os trabalhos relacionados à nutrição mineral e toxidez por alumínio para estas espécies. Em regiões tropicais, a toxidez do alumínio (Al) é um dos fatores mais limitantes ao crescimento e produção de plantas em solos ácidos (KAMPRATH e FOY, 1985; FOY, 1974). Assim como em culturas agrícolas, a noção legítima do padrão de desenvolvimento das espécies florestais em solos ácidos, e na presença de Al, é base para estudos de nutrição mineral.

Frente a real necessidade de informações atualizadas sobre a influencia do Al no desenvolvimento de plantas da espécie *Bauhinia variegata* L. e de benefícios do uso de Al em

operações de poda, este estudo foi desenvolvido em duas etapas, resultando assim em dois capítulos. O primeiro, relacionado diretamente à nutrição mineral, com o estudo direcionado à investigação dos efeitos da toxidez do Al no crescimento e desenvolvimento das raízes de *Bauhinia variegata*. Foram realizados experimentos em solução nutritiva simples e completa e em substrato de solo ácido. No segundo capítulo foi avaliada a eficiência de diferentes tipos de corte de podas realizadas em plantas adultas de *Bauhinia variegata*, com e sem a utilização de Al como inibidor de crescimento.

Lemos (2015) e Polese (2013), através de seus estudos, demonstraram que a poda pode ser um método eficiente de diminuir a brotação em espécies arbóreas, favorecendo a manutenção dos plantios mesmo em áreas onde as árvores entram em conflito com as redes de distribuição elétrica. A otimização do processo de podas pode gerar vantagens que minimizem possíveis conflitos e permitam o melhor aproveitamento dos benefícios da arborização. A diminuição do número de podas por período, pode promover redução de custos, aumento da segurança e menor probabilidade de interrupção de fornecimento de energia elétrica (LEMOS, 2015; VELASCO, 2003; CASTRO, 1998).

Assim, os objetivos deste estudo foram avaliar a influência do Al no desenvolvimento de mudas de *Bauhinia variegata*, e a eficiência de diferentes tipos de corte em poda, com e sem aplicação de Al, de modo a diminuir brotações nestes pontos.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Poda em Arborização Urbana

São diversos os conceitos de poda encontrados na literatura, de forma geral, ela é realizada visando atender a objetivos próprios de manejo cultural ou adequação. De acordo com Inglês de Sousa (2005), a poda é o método de remoção de partes da planta com a finalidade de melhorá-la ou adequá-la a objetivos pré-estabelecidos. Brickell (1979) definiu a poda, do ponto de vista fitotécnico, como sendo a remoção de partes da planta com o objetivo de estimular o crescimento, a floração ou a frutificação, para obtenção do máximo efeito decorativo ou produção.

Existem diferentes tipos de poda descritos na literatura. Segundo Milano e Dalcin (2000) os principais tipos de poda utilizados na arborização urbana são a poda de formação, manutenção e segurança. A poda de formação é realizada para a condução do crescimento da planta desde a fase de viveiro, de maneira a garantir o padrão de qualidade da muda (altura mínima de bifurcação e forma da copa). A poda de manutenção é aquela realizada em galhos que estão com bom desenvolvimento vegetativo em situações que possam apresentar algum problema ou interferência em equipamentos ou construções. Por fim, a poda de segurança é realizada para a prevenção de acidentes em consequência de podas mal feitas ou quebra natural dos galhos.

Considerada o principal manejo das árvores em espaço urbano, muitas vezes a poda é realizada visando diminuir conflitos com construções ou equipamentos, como redes de distribuição elétrica. Para diversas espécies, utilizadas na arborização urbana, a rápida rebrota de ramos laterais e deformação da copa são processos indesejáveis, por questões econômicas e práticas. Estudos realizados por Paiva e Robitaille (1978) e Bloem, Murphy e Lugo (2003), indicam que a poda ou a quebra de galhos, ao causar um ferimento, induzem a produção de etileno e o processo de cicatrização, podendo também estimular a brotação de gemas laterais.

Resultados de estudos realizados por Polese (2013) com *Clitoria fairchildiana* Howard, e por Lemos (2015) com as espécies *Licania tomentosa*, *Ficus benjamin*, *Acacia mangium* e

*Clitoria fairchildiana* Howard, indicaram que o tipo de corte realizado podem resultar em menor número de brotações, ou mesmo ausência destas.

## 2.2 Descrição da Espécie

O gênero *Bauhinia* é bastante amplo, com cerca de 300 espécies, sendo 200 brasileiras (VAZ e TOZZI, 2005). Está incluído na família *Fabaceae*, de acordo com a lista de espécies da Flora do Brasil (VAZ, 2010). O gênero criado por Linnaeus foi dedicado aos irmãos Bahuin, botânicos de origem suíça, nascidos no século XVI.

As espécies do gênero apresentam porte arbóreo ou arbustivo. São conhecidas popularmente como pata-de-vaca, casco-de-burro, pata-de-boi, pata-de-veado, unha-de-vaca, mororó, bauínia. Os nomes populares fazem referência às folhas que são fendidas no meio formando dois lobos ou folíolos, de forma que se assemelham a uma pata de bovino (LUSA e BONA, 2008; NOGUEIRA et al., 2012).

As plantas são hermafroditas, com flores vistosas, de coloração branca ou rosa com pétalas de até 9 cm de comprimento. Os frutos são legumes aplainados, marron-acinzentados, com cerca de 20 cm de comprimento por 2,5 cm de largura (CARVALHO, 2001). As sementes são achatadas com 10-15 mm de diâmetro e coloração marrom claro (TAKAHASHI, 1987). Algumas das espécies do gênero apresentam acúleos de aproximadamente 10 mm de comprimento. As espécies sem acúleos, como *Bauhinia variegata* L., de origem é asiática (TAKAHASHI, 1987), têm sido preferencialmente utilizadas na arborização urbana devido ao porte médio (5 a 7 m de altura), caule liso e aspecto ornamental da copa e das flores (NOGUEIRA e SABINO, 2012; LUSA e BONA, 2008, CARVALHO, 2003).



**Figura 1.** Aspecto visual de *Bauhinia variegata* L. Detalhe de flor, folha e vagem.

## 2.3 Solos Ácidos e Toxidez do Alumínio

Em pH inferior a 5,5 ocorre dissolução do Al promovendo a liberação das formas iônicas na solução do solo, desta forma o Al passa a ocupar as posições de troca catiônica (RITCHIE, 1994). Mesmo em baixas concentrações, o Al solúvel é tóxico para a maioria das espécies vegetais. Pode afetar o desenvolvimento normal das raízes, bloquear os mecanismos de aquisição e transporte de água e nutrientes e causar alterações citológicas. Os mecanismos de toxidez resultam, essencialmente, da ligação deste elemento com substâncias situadas na parede celular, membrana plasmática ou no citoplasma (FOY *et al.*, 1978, 1988). O poder fitotóxico do Al decorre da atividade das suas espécies iônicas na interfase raiz-solução e não

necessariamente da sua concentração solúvel total, havendo para cada espécie menor ou maior grau de fitotoxicidade (ROSSIELO e JACOB NETO, 2006). São conhecidos vários sintomas relacionados aos efeitos da toxicidade do Al em espécies sensíveis, tais como a inibição do alongamento radicular, assim como efeitos a nível estrutural e ultraestrutural, provocando a inibição da replicação celular (GREVENSTUK & ROMANO, 2013).

A forma trivalente  $Al^{3+}$  é considerada a mais tóxica (SILVA, 2012). Os efeitos primários da toxicidade são: alterações da membrana plasmática, como fluidez e permeabilidade; alterações na homeostase do cálcio ( $Ca^{2+}$ ), com aumento da sua concentração no citossol; indução da produção de intermediários reativos do  $O_2$ , ocasionando a peroxidação dos lipídeos da membrana plasmática (FOY *et al.*, 1978, 1988; KINRAIDE, 1991).

O sintoma mais evidente da toxicidade do Al é a inibição do crescimento radicular. O ápice da raiz é apontado como alvo primário das injúrias. Em geral, o efeito tóxico do alumínio provoca severas mudanças da morfologia da raiz, sendo observada inibição do alongamento radicular, resultando em raízes mais curtas com ápices mais grossos, com poucos ou nenhum pelo radicular (GUPTA *et al.*, 2013).

Na parte aérea, os efeitos mais comuns do Al envolvem o enrolamento das folhas jovens, redução da abertura estomática, diminuição da atividade fotossintética e clorose ou necrose das folhas. Além de efeitos secundários provocados por alterações na absorção de nutrientes pelas raízes (WATANABE & OSAKI, 2002).

A nível celular, a maioria dos estudos indica que a parede celular é o principal compartimento de acumulação do Al, porém, ele também pode estar presente no interior da célula e a natureza das lesões pode ser simplástica ou apoplástica (LI *et al.*, 2009). A membrana celular proporciona potenciais sítios de ligação para o Al tais como os grupos carboxila e fosfato. A ligação do Al na membrana plasmática pode explicar mudanças em suas propriedades, tais como a fluidez, alterações na atividade de canais iônicos, alteração na homeostase do  $Ca^{2+}$ , inibição de  $H^+$ -ATPase, e a peroxidação lipídica (AHN *et al.*, 2001; RENGEL e ZHANG, 2003; CORRALES *et al.*, 2008). No simplasto, os principais alvos do Al são o ATP, GTP, ácidos nucleicos, glutamato, vesículas de transporte endossomático e o citoesqueleto (YANG *et al.*, 2008).

O Al induz enrijecimento da parede celular, dificultando o alongamento celular. Este efeito pode ser explicado pela ligação do Al em componentes recém-formados da matriz durante o processo de alongamento, sendo que a expansão da parede requer tanto afrouxamento da parede como síntese de novos componentes da matriz. (BARCELÓ *et al.*, 1996).

Segundo Yamamoto *et al.* (2002), o Al afeta as funções mitocondriais, levando à produção de espécies reativas de oxigênio, provavelmente o evento crítico chave do Al na inibição do crescimento celular.

O Al é capaz de induzir o aumento das concentrações de  $Ca^{2+}$  intracelular, sendo a alteração da homeostase de  $Ca^{2+}$  citosólico um dos primeiros sintomas bioquímicos da toxicidade do Al. O  $Ca^{2+}$  atua como um importante sinalizador envolvido em processos intracelulares e de estresses ambientais, como o estresse iônico, por exemplo pelo sódio e o próprio Al, nas plantas (FOY *et al.*, 1978; ZHANG e RENGEL, 1999). Este aumento dos níveis de  $Ca^{2+}$  citosólico pode afetar de forma direta os processos metabólicos dependentes desse cátion, por exemplo, a regulação da divisão e alongamento celular. Além disso, o aumento do  $Ca^{2+}$  citosólico é condição necessária para síntese de calose, e o aumento das concentrações de calose na célula deve acarretar o fechamento dos plasmodesmos. Desta forma, o alumínio afetaria a comunicação entre as células (SIVAGURU *et al.*, 2000; ROSSIELO e JACOB NETO, 2006).

O Al também pode provocar um processo de sinalização celular com o envolvimento de fitohormônios, em especial o etileno (KOCHIAN, 1992). O etileno é um hormônio vegetal gasoso responsável por diversas respostas fisiológicas (TAIZ e ZEIGER, 2004). De forma

semelhante ao Al, o etileno também provoca inibição do alongamento radicular. Vários estudos indicam relação entre Al e etileno neste processo (MASSOT et al., 2000; SUN et al., 2010). Em elevada concentração, o etileno altera o padrão de crescimento de plântulas, constituindo um elemento de resposta tríplice. A tríplice resposta do etileno se caracteriza pela redução no alongamento do caule, aumento do crescimento lateral (intumescimento) e crescimento horizontal anormal (TAIZ e ZEIGER, 2013). O Al estimula a atividade das enzimas envolvidas na biossíntese do etileno – ácido aminociclopropano carboxílico (ACS) e oxidase do ácido aminociclopropano carboxílico (ACO) – e os receptores envolvidos na percepção do hormônio, dando origem a uma série de reações que resultam na inibição do crescimento radicular (FONSECA JÚNIOR, 2011).

De acordo com Ulrich *et al.* (1980), a toxidez causada pelo Al foi identificada como um importante fator no declínio de florestas. Ressalta-se a importância do plantio ser precedido de correção da acidez do solo ou utilização de espécies resistentes à toxicidade do Al.

#### **2.4 Uso de Solução Nutritiva na Avaliação da Toxidez do Alumínio**

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 e RYAN, 1995). Apresenta resultados rápidos e permite o controle das variáveis não experimentais, aumentando a precisão dos testes de toxicidade (SPEHAR, 1994).

Estudos foram conduzidos no sentido de avaliar a correspondência entre os resultados obtidos nas avaliações da identificação da tolerância ao Al, de culturas agrícolas, em testes de campo e em solução nutritiva, sendo constatada a correspondência entre os resultados (SPEHAR, 1989; CAMPBELL e CARTER JUNIOR, 1990).

Vários fatores, tais como pH, composição iônica e disponibilidade de elementos trocáveis, influenciam na disponibilidade e efeitos do Al, o que dificulta os estudos da toxicidade em condições não controladas. Assim, a solução nutritiva torna-se uma alternativa viável e eficiente (MAGNAVACA, 1991).

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. Não obstante, estes autores relataram que solução nutritiva em alta concentração iônica reduz a fitotoxicidade do Al, pelas interações físico-químicas estabelecidas entre este e outros íons presentes na solução. Tal observação levou à formulação de soluções salinas, de baixa força iônica, a partir da dissolução de cloretos de Ca e Al, em meio ácido, reduzindo a precipitação do Al. Similarmente, Pavan et al. (1982), constataram que a diluição da concentração da solução de Hoagland e Arnon, reduz a concentração de íons que formam pares iônicos com o Al. Considerando o comportamento das espécies iônicas de Al, é relatado que o poder fitotóxico da solução seja maximizado em valores de pH próximos a 4,0.

Soluções nutritivas simples ou completa têm sido amplamente utilizadas em pesquisas sobre a toxidez do Al em culturas agrícolas e, mais recentemente, em espécies florestais. Dentre as principais vantagens está o maior controle experimental, rapidez, menor custo operacional e facilidade de manejo (JACOB-NETO, 1993; FURNALI et al., 2000; SCHEFFER-BASSO et al., 2000; FORTUNATO e NICOLOSO, 2004; PORTALUPPI et al., 2010; SILVA et al., 2014).

Os métodos aplicados neste trabalho seguem uma linha de continuidade dos trabalhos recentemente desenvolvidos no Laboratório de Química da Rizosfera, do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), onde foram realizadas pesquisas sobre a toxicidade do Al e a nutrição mineral de plantas. Também de diferentes tipos de poda, associados ou não ao uso de inibidores de crescimento, objetivando a diminuição do número de brotações.

## CAPÍTULO I – AVALIAÇÃO DA TOXIDAZ DO ALUMÍNIO EM *Bauhinia variegata* L.

### 3. INTRODUÇÃO

O estudo da nutrição mineral de espécies utilizadas na arborização urbana torna-se relevante num contexto onde as limitações oferecidas às plantas são, em geral, mais acentuadas do que nos ambientes naturais. Fatores edáficos como profundidade efetiva, presença de concreções no perfil do solo, acidez e baixa fertilidade, podem dificultar o estabelecimento da planta, resultando em perdas de mudas ou riscos de tombamento de indivíduos adultos. Mesmo em espécies conhecidamente resistentes ou tolerantes a estresses ambientais, como a toxidez do alumínio, a correção e adubação do solo promovem benefícios para o desenvolvimento das plantas (HARIDASAN, 1986 e 2008). Estudos, com diferentes espécies florestais, indicam que a obtenção de mudas de boa qualidade somente é possível quando da correção das limitações químicas dos solos (MELO et al., 2007)

O Al é um importante fator de estresse por provocar efeitos de toxidez e por ser um dos elementos mais abundantes na matriz mineral do solo. A toxidez do Al é avaliada como um dos principais fatores limitantes da produtividade agrícola em solos ácidos, sendo a forma trivalente  $Al^{3+}$  a mais tóxica (FOY et al., 1978). Em pH inferior a 5,5 ocorre dissolução do Al promovendo a liberação das formas iônicas na solução, assim o Al passa a ocupar as posições de troca catiônica (RITCHIE, 1994). A alta saturação de Al (proporção de alumínio em relação à capacidade de troca catiônica) é mais importante no contexto da fitotoxicidade do que a quantidade absoluta de Al na solução do solo (ROSSIELO e JACOB NETO, 2006; HARIDASAN, 2008).

Mesmo em baixas concentrações, o Al solúvel é tóxico para a maioria das espécies vegetais. Estudos demonstram que o elemento afeta o desenvolvimento normal das raízes, bloqueando os mecanismos de aquisição e transporte de água e nutrientes, além de causar alterações citológicas (JACOB-NETO, 1993; SIVAGURU et al., 1999; VASCONCELOS FILHO, 2014). Os mecanismos de toxidez resultam, essencialmente, da ligação deste elemento com substâncias situadas na parede celular, membrana plasmática ou no citoplasma. Na maioria das condições o poder fitotóxico do Al decorre da atividade das suas espécies iônicas na interfase raiz-solução e não necessariamente da sua concentração solúvel total, havendo para cada espécie menor ou maior grau de fitotoxicidade (ROSSIELO E JACOB NETO, 2006).

Os efeitos primários da toxicidade são: alterações da membrana plasmática, como fluidez e permeabilidade; alterações na homeostase do  $Ca^{2+}$ , com aumento da sua concentração no citossol; indução da produção de intermediários reativos do  $O_2$ , ocasionando a peroxidação dos lipídeos da membrana plasmática (FOY et al., 1978, 1988; KINRAIDE, 1991). O sintoma mais evidente da toxicidade do Al é a inibição do crescimento radicular (RENGEL, 1992). O ápice da raiz é apontado como alvo primário das injúrias (GUPTA et al., 2013). Em geral, o efeito tóxico do alumínio provoca severas mudanças da morfologia da raiz, sendo observada inibição da elongação radicular, resultando em raízes curtas com ápices mais grossos, com poucos ou nenhum pelo radicular (MOTODA et al., 2010; GUPTA et al., 2013).

A toxidez por Al é, provavelmente, a causa da redução do crescimento de raízes em subsolos fortemente ácidos (KAMPRATH e FOY, 1985). Vale et al. (1996) ao estudarem o crescimento radicular de 15 espécies florestais em solos ácidos, observaram diferenças marcantes entre as espécies no que diz respeito a capacidade de crescimento das raízes em

condições de acidez e na tolerância à toxidez de Al. Furtini Neto et al. (1999), estudaram os efeitos relacionados à acidez do solo no comportamento de quatro espécies florestais e observaram que o Al limitou sensivelmente o desenvolvimento de todas as espécies. Polese (2013) verificou que o Al causou fitotoxidez em plântulas de *Delonix regia* (flamboyant); resultados semelhantes foram relatados por Vasconcelos Filho (2014) em plântulas de *Anacardium othonianum* Rizz. (caju-do-errado).

Para que as árvores expressem seu potencial paisagístico e ambiental, bem como para otimização dos seus benefícios, é necessário que estejam em condições plenas de sanidade e desenvolvimento. Os ambientes de plantio urbano, em geral, oferecem condições inadequadas de fertilidade dos solos, podendo ainda apresentar impedimentos físicos para o crescimento da raiz, presença de elementos tóxicos e deposição de materiais diversos (BRUN et al., 2012). A produção de mudas saudáveis, com raízes bem desenvolvidas, especialmente nestes casos, pode ser elemento decisivo para a implantação adequada dos plantios. A adequação nutricional e o aproveitamento da potencialidade das espécies para adaptação ou tolerância a condições adversas, é fator de sucesso do cultivo. Torna-se importante ressaltar que o plantio inadequado, sem que haja o devido atendimento às necessidades nutricionais e de espaço físico, assim como de mudas incapazes de desenvolver plenamente o sistema radicular, pode oferecer riscos à população e ao mobiliário urbano, além da necessidade de replantio.

Sendo a toxidez do Al é um dos fatores que mais limitam o crescimento e produção de plantas em solos ácidos, em regiões tropicais (FOY, 1974; KAMPRATH e FOY, 1985), para a otimização silvicultural é importante o conhecimento dos efeitos do Al sobre o crescimento e desenvolvimento destas espécies. Esta informação é uma das bases para a produção de mudas saudáveis, bem como para o estabelecimento de plantios com a adequada correção da acidez do solo.

Assim como em culturas agrícolas, a noção legítima do padrão de desenvolvimento das espécies florestais em solos ácidos, e na presença de  $Al^{3+}$ , é embasamento necessário para estudos de nutrição mineral. Deste modo, este trabalho objetivou estudar os efeitos do alumínio sobre o crescimento e desenvolvimento inicial de plantas de *Bauhinia variegata* L.

Para atender aos objetivos do trabalho, foram realizados experimentos em solução nutritiva simples e completa e em substrato de solo ácido. O estudo em soluções nutritivas tem por finalidade avaliar os efeitos do Al no crescimento da raiz. Por sua vez, a avaliação com solo conjectura o efeito continuado do Al sobre a parte aérea e raízes, através da avaliação da produção de matéria seca.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos 1, 2 3 e 4 foram conduzidos em câmara de crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera do Departamento de Fitotecnia – Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). A câmara de crescimento foi mantida no fotoperíodo de 12h luz/12h escuro e temperaturas entre 25 e 35°C. As sementes utilizadas foram coletadas de uma única planta matriz de *Bauhinia variegata* (pata-de-vaca), localizada no município de Seropédica – RJ. Para todos os experimentos o delineamento experimental foi inteiramente casualizado. Os dados foram submetidos à análise de variância (programa estatístico ASSISTAT), utilizando o teste-F em nível de probabilidade de 5%, sendo as médias posteriormente avaliadas pelo teste de Tukey ou pela análise de regressão.

#### 4.1 Experimento 1: Crescimento Radicular Inicial de *Bauhinia variegata* L. em Solução Nutritiva Simples, com Concentrações Crescentes de Alumínio

O experimento 1 foi conduzido em solução nutritiva simples continuamente aerada, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado com 5 tratamentos (0, 50, 100, 150 e 200  $\mu\text{M}$  de Al), 4 repetições, com plântulas de *Bauhinia variegata*.

O plantio foi realizado após as sementes serem submetidas a um tratamento com solução de hipoclorito de sódio a 6%, durante 3 min, para desinfestação. A semeadura realizada em areia lavada, irrigada diariamente com água deionizada. Os recipientes para germinação foram mantidos em bancada dentro do laboratório, sob luz natural. A germinação ocorreu 2 dias após a semeadura (DAS) e o transplântio para solução nutritiva realizado 7 DAS, quando as raízes principais mediam entre 7 e 8 cm de comprimento. A solução nutritiva foi preparada a partir de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  e com 0,1 mM de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , com concentrações crescentes de Al de acordo com os tratamentos. Foram utilizados vasos com capacidade para 700 mL, nos quais foram acondicionados 500 mL da solução nutritiva e uma plântula para o cultivo.

A solução estoque de alumínio foi preparada segundo Kinraide (1978). O pH da solução foi ajustado para  $4,0 \pm 0,2$  utilizando solução 1M de HCl e/ou NaOH, conforme necessário. A aeração foi mantida constante através do uso de um compressor de ar. A troca de solução nutritiva ocorreu a cada 3 dias (72 h). Foram realizadas medições diárias do comprimento das raízes principais, com o uso de régua graduada, até 7 dias após o transplântio (168 h). Ao final deste período, as plântulas foram retiradas da solução nutritiva e foram avaliados os parâmetros de Elongação Radicular Relativa (ERR%) e a Taxa de Crescimento Radicular (TCR).

A alongação radicular relativa (ERR%), foi calculada de acordo com a equação proposta por Vasconcelos et al. (2002).

$$\text{ERR} = ((\text{CfAl}_x - \text{CiAl}_x) / (\text{CfAl}_0 - \text{CiAl}_0)) * 100$$

Onde:

ERR: alongação radicular relativa

CiAl<sub>x</sub>: comprimento radicular inicial da raiz principal (cm) medido antes da exposição à solução nutritiva no nível de “x” de Al;

CfAl<sub>x</sub>: comprimento radicular final da raiz principal (cm) medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al;

CiAl<sub>0</sub>: Comprimento radicular inicial da raiz principal (cm) antes da exposição à solução sem Al;

CfAl<sub>0</sub>: Comprimento radicular final da raiz principal (cm) medido após n dias de exposição à solução nutritiva no nível “x” de Al.

A taxa de crescimento radicular (TCR) foi calculada através da equação:

$$\text{TCR} = (\text{Cf} - \text{Ci}) / \Delta t$$

Onde:

Cf = comprimento radicular no final do cultivo;

Ci = comprimento radicular no momento da transplântio para a solução nutritiva;

$\Delta t$  = intervalo de tempo em dias.

Os sintomas visuais – aparência das raízes – foram avaliados visualmente de forma subjetiva quanto à cor, forma e ramificações.

#### 4.2 Experimento 2: Crescimento Radicular Inicial de *Bauhinia variegata* L. em Solução Nutritiva Completa, com Concentrações Crescentes de Alumínio

O experimento 2, foi realizado utilizando um solução nutritiva completa, seguindo o mesmo método do experimento 1, em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 5 tratamentos (0, 50, 100, 150 e 300  $\mu\text{M}$  de Al) e 4 repetições.

As plântulas foram crescidas em uma solução nutritiva completa balanceada, de baixa força iônica, preparada de acordo com a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), composta por 0,5 mM de N na forma de  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ; 0,1 mM de Ca na forma de  $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; 0,2 mM de Mg na forma de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ; 0,5 mM de K na forma de  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ; 50  $\mu\text{M}$  de P na forma de  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ; 10  $\mu\text{M}$  de Fe na forma de FeNa EDTA; 0,4  $\mu\text{M}$  de Mn na forma de  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ; 0,16  $\mu\text{M}$  de Zn na forma de  $\text{ZnSO}_4$ ; 0,04  $\mu\text{M}$  de Cu na forma de  $\text{CuSO}_4$ ; 0,5  $\mu\text{M}$  de Mo na forma de  $\text{MoO}_3$ ; 0,04  $\mu\text{M}$  de Co na forma de  $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ . O pH da solução foi ajustado para  $4,0 \pm 2$  utilizando solução 1M de HCl e/ou NaOH, conforme necessário.

A germinação ocorreu 3 DAS e o transplântio para solução nutritiva realizado 9 DAS, quando as raízes principais mediam entre 7 e 8,5 cm de comprimento. A troca de solução nutritiva completa ocorreu a cada 3 dias (72 h), quando foram procedidas as medições do comprimento radicular, com o uso de régua graduada. Após um período de 15 dias (360 h), as plântulas foram retiradas da solução nutritiva e foram procedidas as mesmas avaliações do experimento 1 (TCR, ERR% e sintomas visuais).

#### **4.3 Experimento 3: Avaliação de Sintomas Físicos de Toxidez do Alumínio em Mudanças de *Bauhinia variegata* L.**

Foram utilizadas mudas de *Bauhinia variegata*, produzidas pelo horto florestal da UFRRJ, com idade aproximada de 10 meses. As mudas foram cultivadas em substrato de terra e areia em sacos plásticos com 10 cm de diâmetro x 20 cm de altura. Por ocasião da instalação do experimento, a altura média das plantas era de 90 cm. As mudas foram retiradas do substrato sob água corrente de maneira a evitar qualquer perda de material radicular por dano físico. Entretanto, dadas às condições de plantio, as raízes principais encontravam-se com comprimento incompleto, sem a presença do ápice radicular.

As mudas, após terem as raízes lavadas em água corrente para retirada de resíduos do substrato, foram transferidas para vasos com capacidade de 1,8 L, contendo água deionizada, em aeração constante. Passadas 24 h, a água deionizada foi substituída por solução nutritiva simples, contendo concentrações crescentes de Al (0, 400, 800 e 1600  $\mu\text{M}$ ) na forma de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , com 0,1 mM de  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . O pH da solução foi ajustado para  $4,0 \pm 2$  utilizando solução 1M de HCl e/ou NaOH, conforme necessário. A aeração foi mantida constante através do uso de compressor de ar. A troca da solução nutritiva ocorreu a cada 3 dias (72 h).

No momento do transplântio das mudas para a solução nutritiva e após 60 dias de cultivo, foram aferidos o comprimento da raiz principal e da parte aérea, o volume de raízes e o diâmetro da raiz a 5 cm do colo. O comprimento da raiz principal e da parte aérea foram medidos com uso de fita métrica. Para medição do volume de raízes, foi utilizada proveta graduada de 500 mL e o volume medido por deslocamento de coluna de água. O diâmetro do colo foi medido com uso de um paquímetro.

Foram calculados o aumento em diâmetro de raiz (ADR) e o aumento em volume de raiz (AVR), segundo as equações:

$$\text{ADR} = D_f - D_i$$

Onde:

$D_f$  = diâmetro da raiz no final do cultivo;

$D_i$  = diâmetro da raiz no momento da transplântio para a solução nutritiva.

$$\text{AVR} = V_f - V_i$$

Onde:

$V_f$  = volume ocupado pela raiz no final do cultivo;

$V_i$  = volume ocupado pela raiz no momento da transplântio para a solução nutritiva.

#### **4.4 Experimento 4: Crescimento de Mudras de *Bauhinia variegata* L. em Solo Ácido, com Diferentes Doses de Calcário, Potássio e Fósforo**

O Experimento 4 foi instalado em condições de câmara de crescimento, como descrito anteriormente, utilizando amostras de terra dos primeiros 20 cm de um Latossolo Vermelho Amarelo (DAP-Florestal), coletado em Ribeirão das Lages, Município de Pirai- RJ. As análises química e física da amostra do solo apresentaram os seguintes resultados:  $K^+$  0,15  $cmol_c dm^{-3}$ ;  $Ca^{2+}$  2,9  $cmol_c dm^{-3}$ ;  $Mg^{2+}$  0,1  $cmol_c dm^{-3}$ ;  $Al^{3+}$  0,5  $cmol_c dm^{-3}$ ;  $H+Al$  4,5  $cmol_c dm^{-3}$ ;  $pH_{\text{água}}$  4,2; areia 9%, silte 15%, argila total 32%. A amostra de terra foi peneirada em peneira de 2 mm, posteriormente colocada em vasos com 1,7 kg de terra, sem abertura no fundo. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, num arranjo fatorial com 4 doses de calcário (0; 0,5; 1,0 e 2,0 t/ha), 2 doses de potássio (k) (0 e 60 kg/ha) e 2 doses de fósforo (P) (0 e 100 kg/ha), com 4 repetições. As doses de calcário utilizadas foram estimadas através de curva de neutralização do solo utilizando, método descrito pela Embrapa (1979). Foi utilizado calcário dolomítico com PRNT 80%, teor de MgO 10,1% e CaO 33,5%. O P foi aplicado na forma de super fosfato simples ( $P_2O_5$ ) e o K na forma de cloreto de potássio (KCl). Em todos os tratamentos foi aplicado o equivalente a 60 kg/ha de FTE BR – 12, para o suprimento de micronutrientes.

Após desinfecção em cloreto de sódio a 6%, durante 3 min, as sementes de *Bauhinia variegata*, foram semeadas diretamente nos vasos, sendo 3 sementes por vaso. Aos 11 DAS, foi realizado o desbaste deixando 2 plântulas por vaso. A irrigação foi realizada de forma manual, diariamente, com água deionizada. O experimento foi conduzido até aos 32 DAP, quando foram realizadas as medidas de comprimento de raízes e parte aérea. Parte aérea e raízes de cada planta foram separadas, embaladas em sacos de papel com identificação e levadas para serem secas em estufa sem ventilação forçada a 60°/65°C, até que o material estivesse completamente livre de água para ser verificado o peso da matéria seca da parte aérea e das raízes em balança analítica de alta precisão.

## **5. RESULTADOS**

### **5.1 Experimentos 1 e 2: Crescimento Radicular Inicial de *Bauhinia variegata* L. em Solução Nutritiva Simples e Completa, com Concentrações Crescentes de Alumínio.**

Dada a existência de uma variável independente (doses de Al), foi realizada a análise de regressão. As tabelas 1 e 2 apresentam os resumos das análises de variância das taxas de crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva simples e completa, respectivamente. Estas análises mostraram que ocorreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) das concentrações de alumínio no crescimento das raízes.

Nos dois experimentos a taxa de crescimento radicular decresceu conforme o aumento das concentrações de Al. As equações que melhor se adequaram à distribuição dos dados foram avaliadas pelos maiores valores de coeficiente de determinação.

A figura 2 apresenta a análise de regressão das taxas de crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva simples. O modelo de regressão quadrática foi o que melhor representou a distribuição dos dados, definido pelo maior valor de  $R^2$  (0,91469) pois valor de  $R^2$  para a equação linear foi 0,6877. Pode ser observado que desde a menor concentração de Al na solução (50  $\mu M$ ) houve diminuição do crescimento radicular. O modelo de regressão quadrática indicou a concentração de 151,48  $\mu M$  de Al como onde ocorreu a menor taxa de crescimento radicular de plântulas de *Bauhinia variegata*.

**Tabela 1.** Análise de variância das taxas de crescimento radicular de plântulas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Experimento 1.

Fonte de variação	G.L.	Q.M.	F
Concentração de Al	4	1,09389	12,1242 **
Regressão linear	1	3,00928	33,3534 **
Regressão quadrática	1	0,99303	11,0063 **
Resíduo	15	0,09022	
Total	19		

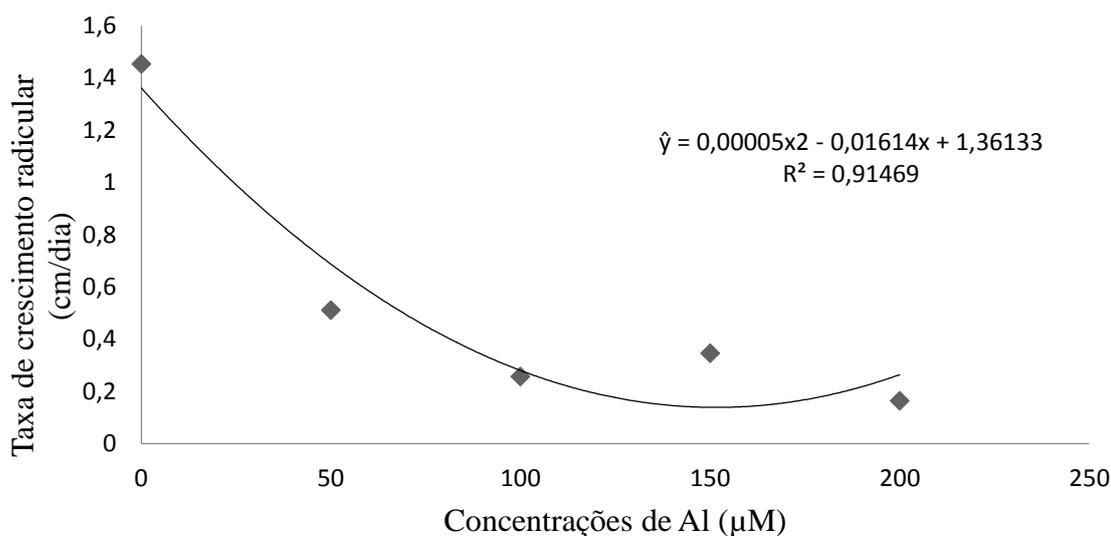
\*\* significativo em nível de 1%. CV (%) = 54,97

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância das taxas de crescimento radicular de plântulas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. Experimento 2.

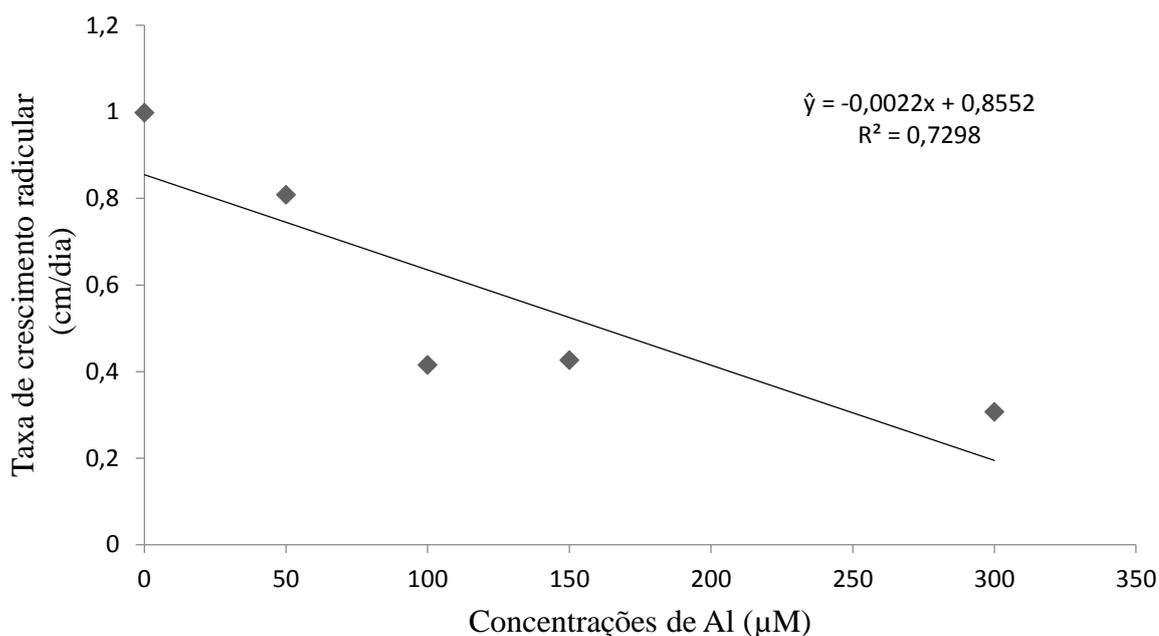
Fonte de variação	G.L.	Q.M.	F
Concentração de Al	4	0,35198	12,0404 **
Regressão linear	1	1,24609	42,6257 **
Regressão quadrática	1	0,08486	2,9030 ns
Resíduo	15		
Total	19		

\*\* significativo em nível de 1% ; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 28,93

A análise das taxas de crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva completa é apresentada na figura 3. O modelo de regressão linear indica que ocorreu redução progressiva das taxas de crescimento em função do aumento das concentrações de Al. O modelo de regressão linear sugere que a concentração de 388,72  $\mu\text{M}$  de Al levaria à total paralisação do crescimento radicular de plântulas de *Bauhinia variegata*.



**Figura 2.** Taxa de crescimento relativo (TCR) de raízes de *Bauhinia variegata* L. submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Experimento 1.

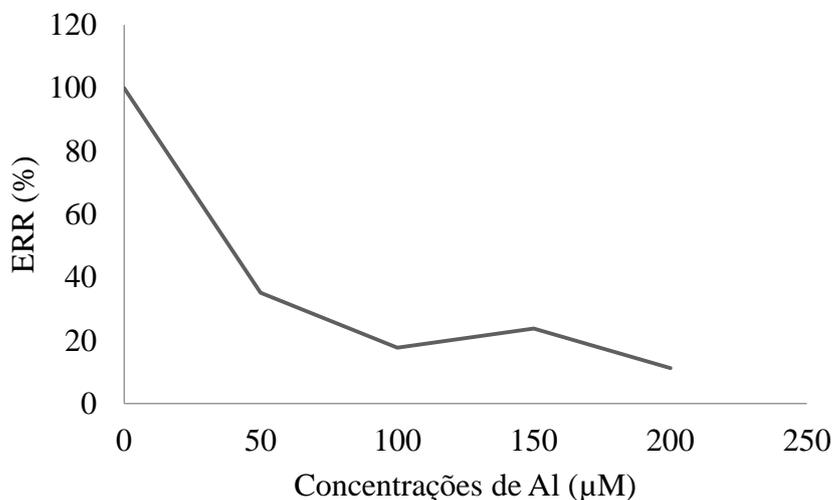


**Figura 3.** Taxa de crescimento relativo (TCR) de raízes de *Bauhinia variegata* L. submentidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva completa. Experimento 2.

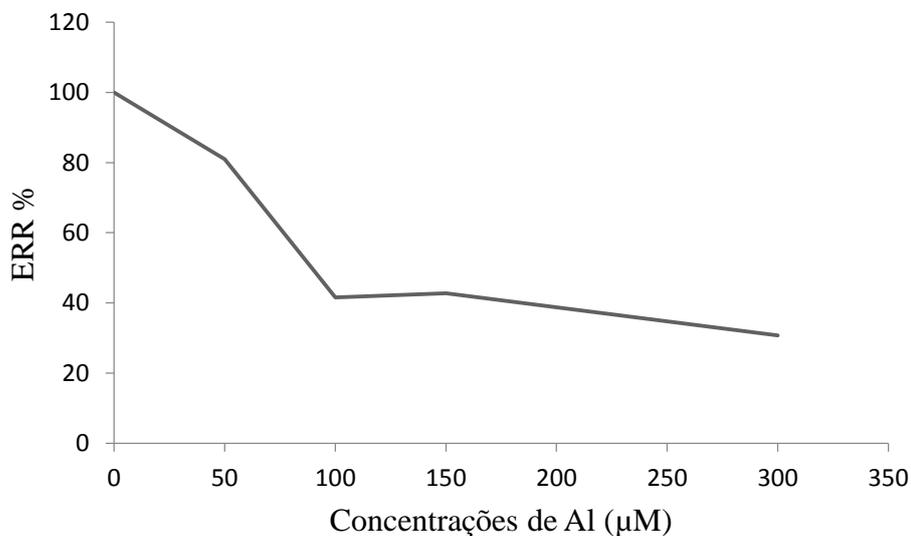
Comparando-se os resultados das análises das taxas de crescimento radicular para os dois experimentos, é possível constatar que o efeito das concentrações de Al foi mais pronunciado quando as plântulas cresceram em solução nutritiva simples. Usando como referência a concentração de 100 µM de Al na solução, a taxa média de crescimento das raízes foi de 0,25 cm/dia na solução nutritiva simples e de 0,41 cm/dia na solução nutritiva completa.

Através do cálculo da alongação radicular relativa (ERR%), é possível avaliar o comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de Al em relação às plântulas crescidas sem contato com Al. Assim, é procedida avaliação percentual do efeito do tratamento do alumínio (“*per si*”), retirando o crescimento natural das raízes que

ocorre nesta condição. Os dados da ERR%, para os experimentos 1 e 2 (Figuras 4 e 5) demonstraram que ocorreu redução do crescimento radicular a medida que se aumentou a concentração do Al em solução, corroborando com os dados das análises das taxas de crescimento das raízes.



**Figura 4.** Dados de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de *Bauhinia variegata* L. submetidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Experimento 1.

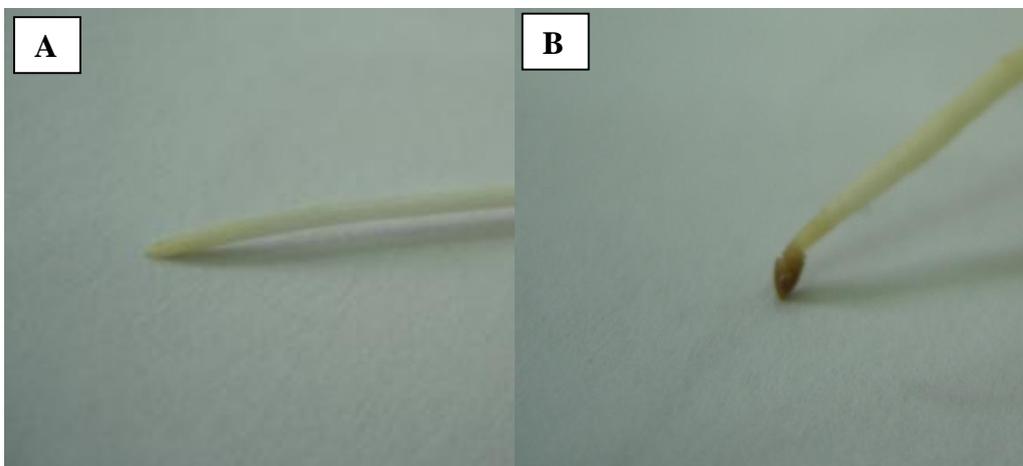


**Figura 5.** Dados de alongação radicular relativa (ERR %) de plântulas de *Bauhinia variegata* L., submetidas a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva completa. Experimento 2.

Em ambos os experimentos foram observados sintomas visuais da toxidez de Al nas raízes das plântulas, a partir das menores concentrações de Al em solução. Os sintomas verificados foram raízes principais curtas e grossas, menor formação de raízes secundárias e ápices radiculares engrossados e escurecidos.

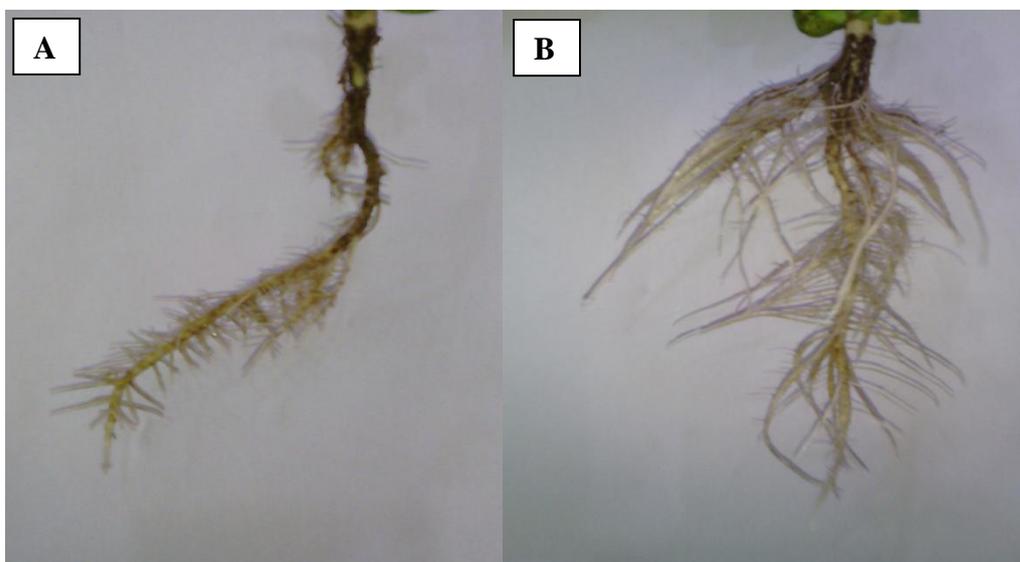
A diferença entre os ápices radiculares de plântulas crescidas em solução nutritiva simples na ausência de Al (Figura 6A) e na concentração de 200  $\mu\text{M}$  de Al (Figura 6B) é observada nas figuras abaixo. Na figura 6A observa-se que o ápice da raiz principal ficou com

a coloração clara e sem engrossamento no tratamento sem adição de alumínio na solução, diferente do ápice com plantas crescendo com 200 $\mu$ M que ficaram mais grossas e com coloração escura (Figura 6B).



**Figuras 6 AB.** Aspecto visual do ápice radicular de plântula de *Bauhinia variegata* L. crescida durante 7 dias em solução nutritiva simples. **A** - tratamento sem Al. **B.** tratamento na concentração de 200  $\mu$ M de Al. Experimento 1.

Por meio das figuras 7 AB é possível notar a diferença entre as formação de raízes secundárias de plântulas crescidas em solução nutritiva completa. Observa-se maior número de raízes secundárias no tratamento sem adição de Al (Figura 7 B) e um menor número no tratamento com 150  $\mu$ M de Al (Figura 7A).



**Figuras 7 AB.** Aspecto visual das raízes secundárias de plântulas de *Bauhinia variegata* L. crescidas durante 15 dias em solução nutritiva completa. **A** - tratamento na concentração de 150  $\mu$ M de Al. **B.** tratamento sem Al. Experimento 2.

### 5.2 Experimento 3: Avaliação de Sintomas Físicos da Toxidez do Alumínio em Mudanças de *Bauhinia variegata* L.

Neste experimento, ocorreu a morte de uma planta nos tratamentos contendo as maiores doses de Al em solução (800 e 1600  $\mu\text{M}$ ). Sendo assim, a análise estatística foi realizada com uma parcela perdida - delineamento experimental inteiramente casualizado com diferentes números de repetições.

A comparação entre as médias obtidas em função das doses de Al empregadas para os parâmetros volume de raízes, aumento em volume de raízes (AVR) e aumento em diâmetro de raízes (ADR), são apresentadas na tabela 3.

O volume de raiz sofreu alteração de forma semelhante entre as dosagens de 400  $\mu\text{M}$  de Al até a dosagem máxima que foi de 1600  $\mu\text{M}$ , quando analisado pelo teste Tukey 5%. Entretanto, não ocorreu diferença entre o tratamento sem alumínio e a dosagem de 400  $\mu\text{M}$ . O mesmo comportamento foi encontrado para o aumento de volume de raiz. O aumento do diâmetro da raiz foi afetado de forma significativa desde a primeira dose de Al utilizada que foi de 400  $\mu\text{M}$  quando comparada pelo teste Tukey 5%. Os coeficientes de variação encontrados para os parâmetros acima citados não foram altos.

Não foi observado crescimento de raízes secundárias ou adventícias em nenhum dos tratamentos com ou sem adição de alumínio.

Em todos os tratamentos foi observada a formação de lenticelas nas raízes principais, embora em menor quantidade nas raízes crescidas com Al. A formação de mucilagem ocorreu em maior proporção nos tratamentos com Al (Figuras 8, 9 e 10).

**Tabela 3.** Volume de raízes, aumento em volume de raízes (AVR) e aumento em diâmetro de raízes (ADR) em mudas de *Bauhinia variegata* L., cultivadas durante 60 dias em solução nutritiva simples, com concentrações crescentes de Al. Experimento 3.

Tratamentos $\mu\text{M}$ de Al	Volume de raiz (mL)	Aumento em volume de raiz - AVR (mL)	Aumento em diâmetro de raiz - ADR (mm)
0	33,25 b	6,55 b	1,48 c
400	43,25 ab	16,55 ab	3,70 b
800	50,00 a	23,30 a	6,42 a
1600	45,00 a	18,30 a	6,75 a
CV (%)	11,45	31,15	11,58

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.



**Figura 8.** Raiz de muda de *Bauhinia variegata* L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, na ausência de Al. Detalhe da formação lenticelas. Experimento 3.



**Figura 9.** Raiz de muda de *Bauhinia variegata* L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, com concentração de 800 µM de Al. Detalhe da formação de mucilagem. Experimento 3.

**Figura 10.** Raiz de muda de *Bauhinia variegata* L. submetida a tratamento em solução nutritiva simples, com concentração de 1600 µM de Al. Experimento 3.

### 5.3 Experimento 4: Crescimento de Mudras de *Bauhinia variegata* L. em Solo Ácido, com Diferentes Doses de Calcário, Potássio e Fósforo

A análise de variância do comprimento radicular das plantas (Tabela 4) mostrou que ocorreu efeito dos tratamentos quando analisado pelo teste F 5%, apenas para a interação entre calcário e K, não sendo significativos os efeitos das doses de calcário, K e P, e nem a interação entre calcário x P, K x P e a interação tripla entre calcário x K x P.

**Tabela 4.** Análise de variância do comprimento de raiz de plantas de *Bauhinia variegata* L. (pata-de-vaca) crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.

Fonte de variação	GL	QM	F
Calcário	3	18,64775	1,9931 ns
K	1	17,48285	1,8686 ns
P	1	0,86723	0,0927 ns
Calcário x K	3	31,27014	3,3422 *
Calcário x P	3	10,62952	1,1361 ns
K x P	1	17,06723	1,8242 ns
Calcário x K x P	3	3,77327	0,4033 ns
Resíduo	15	15,22529	
Total	48		

\* significativo em nível de 5% de probabilidade; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 11,63

Os dados da interação entre a calagem e o K no comprimento radicular da planta são apresentados na tabela 5. Pode ser observado que ocorreu efeito significativo pelo teste de Tukey 5%, apenas quando foi adicionado potássio juntamente com dosagem de uma tonelada por hectare. As demais interações não foram significativas.

**Tabela 5.** Comprimento radicular de plantas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, em função do efeito da interação entre doses de calcário x K. Experimento 4.

Calcário (t/ha)	Comprimento da raiz	
	K (0 kg/ha)	K (60 kg/ha)
0	26,15 aA	24,67 aA
0,5	26,62 aA	26,15 aA
1	23,21 aB	28,08 aA
2	27,15 aA	28,46 aA

As médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e letras maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 11,63

A análise de variância do peso da massa seca de raiz, mostrou que só ocorreu efeito significativo ( $F \geq 5\%$ ) para o calcário (Tabela 6).

**Tabela 6.** Análise de variância do peso de massa seca de raiz de plantas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.

Fonte de variação	GL	QM	F
Calcário	3	0,05584	8,0614 **
K	1	0,00902	1,3029 ns
P	1	0,00090	0,1299 ns
Calcário x K	3	0,01134	1,6373 ns
Calcário x P	3	0,03172	4,5786 **
K x P	1	0,00250	0,3609 ns
Calcário x K x P	3	0,00132	0,1901 ns
Resíduo	15	0,00693	
Total	48		

\*\* significativo em nível de 1% de probabilidade; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 26,06

O efeito isolado do calcário no peso da massa seca de raiz, proveniente da análise de variância completa pode ser visto na tabela 7. Os dados mostraram grande variação, pois o tratamento sem adição de calcário foi igual estatisticamente ao tratamento que recebeu uma tonelada. Quando a regressão é contituída entre estes dados, a equação que melhor descreve a tendência é a quadrática ( $\hat{y} = -0,0509x^2 + 0,1495x + 0,2485$ ,  $R^2 = 0,59$ ), que estabelece que dose de calcário ideal para a massa seca de raiz situa-se na faixa de 1,46 t/ha.

**Tabela 7.** Efeito isolado do calcário no peso de massa seca de raiz de *Bauhinia variegata* L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.

Tratamentos	Massa seca de raiz
Calcário (t/ha)	(mg)
0	0,23 b
0,5	0,36 a
1	0,31 ab
2	0,35 a
Teste F	**
CV (%)	26,06

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Para o comprimento da parte aérea ocorreu à mesma tendência observada para outros parâmetros quando a análise de variância foi empregada, apenas as doses de calcário exerceram efeito neste parâmetro (Tabela 8).

**Tabela 8.** Análise de variância do comprimento da parte aérea de plantas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.

Fonte de variação	GL	QM	F
Calcário	3	205,04656	5,2378 *
K	1	19,58063	0,5002 ns
P	1	54,0225	1,3800 ns
Calcário x K	3	30,57573	0,7810 ns
Calcário x P	3	64,45219	1,6464 ns
K x P	1	1,89063	0,0483 ns
Calcário x K x P	3	36,33448	0,9282 ns
Resíduo	15	72,31471	
Total	48		

\* significativo em nível de 5% de probabilidade; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 12,46

O comprimento da parte aérea foi influenciado diretamente pelas doses de calcário (Tabela 9). A tendência dos dados também segue o mesmo comportamento dos outros parâmetros analisados acima, ou seja, igualdade entre o tratamento sem adição de calcário e a 1 t/ha de calcário. Utilizando um estudo de regressão chega-se à conclusão que a melhor equação para estes dados é uma quadrática ( $\hat{y} = -1,1564x^2 + 5,8502x + 46,604$ ,  $R^2 = 0,70$ ) e à dose de 2,53 t/ha de calcário como ideal para este parâmetro.

**Tabela 9.** Efeito isolado do calcário no comprimento da parte aérea de *Bauhinia variegata* L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.

Doses de calcário (t/ha)	Comprimento da parte aérea (cm)
0	45,64 b
0,5	51,81 a
1	49,37 ab
2	54,00 a

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 12,46

Ocorreu efeito significativo apenas do calcário para o peso de massa seca de parte aérea (Tabela 10). Os dados do efeito isolado do calcário sobre este parâmetro são apresentados na tabela 11. Através da análise de regressão, onde a equação quadrática foi a que melhor apresentou melhor adequação à distribuição dos dados ( $\hat{y} = -0,1582x^2 + 0,6951x + 1,6669$ ,  $R^2 = 0,9213$ ), estima-se que a dose ideal de calcário pra este parâmetro é de 2,2 t/ha.

**Tabela 10.** Análise de variância do peso de massa seca de parte aérea de plantas de *Bauhinia variegata* L. crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sob diferentes doses de calcário, K e P. Experimento 4.

Fonte de variação	GL	QM	F
Calcário	3	1,80641	4,7963 **
K	1	0,18276	0,4852 ns
P	1	0,00526	0,0140 ns
Calcário x K	3	0,11018	0,2925 ns
Calcário x P	3	0,11867	0,3151 ns
K x P	1	0,50766	1,3479 ns
Calcário x K x P	3	0,11784	0,3129 ns
Resíduo	15	0,477	
Total	48		

\*\* significativo em nível de 1% de probabilidade; ns não significativo em nível de 5% de probabilidade. CV (%) = 29,62

**Tabela 11.** Efeito isolado do calcário no peso de massa seca de parte aérea de *Bauhinia variegata* L., crescidas em substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo. Experimento 4.

Tratamentos Calcário (t/ha)	Massa seca de parte aérea (mg)
0	1,62 b
0,5	2,10 ab
1	2,11 ab
2	2,44 a
Teste F	**
CV (%)	29,62

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 6. DISCUSSÃO

A rápida resposta ao Al que se verifica na raiz, de acordo com Matsumoto et al. (2000), indica que, inicialmente, a toxidez deste elemento inibe a expansão e alongação das células das raízes, sendo posteriormente também inibida a divisão celular. Desta forma, o comprimento radicular é usado como parâmetro na maioria das pesquisas que se destinam à análise da toxicidade do Al (SIVAGURU et al., 1999) e quando estudada em plântulas tem apresentado boa correlação com a toxidez da espécie.

No experimento 1 foi utilizada solução nutritiva simples, contendo apenas cálcio em baixa concentração (0,1 mM), com intuito de permitir a máxima expressão dos efeitos do Al

(KINRAIDE et al., 1985). Neste método, comumente utilizado em experimentos de curta duração, as plântulas sensíveis à toxicidade de Al sofrem rapidamente seus efeitos. O uso de soluções simples de Al facilita a expressão máxima dos efeitos de toxidez, devido à baixa capacidade de complexação e associação com outros elementos químicos, normalmente encontrados em soluções completas e de maior força iônica (ROSSIELO e JACOB-NETO, 2006). No experimento com solução nutritiva completa (experimento 2), as concentrações de Al foram semelhantes aos da solução nutritiva simples (experimento 1), embora a solução completa contivesse todos os elementos essenciais, do ponto de vista nutricional. Contudo, foi observado que a diminuição na taxa de crescimento radicular foi mais intensa no experimento com solução nutritiva simples, confirmando o relatado pela literatura. Para a menor concentração de Al (50  $\mu\text{M}$ ), a taxa de crescimento radicular (TCR) foi de 0,51  $\text{cm dia}^{-1}$  na solução nutritiva simples e de 0,80  $\text{cm dia}^{-1}$  na solução nutritiva completa.

As plântulas de *Bauhinia variegata* apresentaram menor crescimento radicular quando na presença de Al nas soluções nutritivas simples e completa. Nestes experimentos verificou-se que as doses de Al que paralisariam o crescimento radicular seriam de 151,48  $\mu\text{M}$  em solução nutritiva simples, e de 388,72  $\mu\text{M}$  em solução completa. Polese (2013) em estudo com *Delonix regia*, relatou que para esta espécie a dose de Al que paralisaria o crescimento radicular seria de 75  $\mu\text{M}$ , em solução nutritiva simples, portanto mais sensível à toxidez que a *Bauhinia variegata*.

Em ambos os experimentos, a TCR decresceu conforme o incremento das doses de Al. Resultados semelhantes do efeito do Al afetando o sistema radicular foram encontrados por Scheffer-Basso (2000) em plântulas de *Adesmia tristis* submetidas a doses crescentes de Al em solução; também por Vasconcelos Filho (2014) em estudo com *Anacardium othonianum* Rizz. (caju do cerrado); Batista et al. (2013) trabalhando com milho e Macedo et al. (2011), trabalhando com pinhão-manso. Os efeitos tóxicos do Al no crescimento das plantas são atribuídos à sua influência sobre diversos processos bioquímicos e fisiológicos, sendo o crescimento radicular o principal indicador da sensibilidade da planta à toxidez por este elemento (BALIGAR et al., 1993; FOY, 1974).

Através da alongação radicular relativa (ERR%) é avaliado o comportamento do crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva contendo doses de Al em relação às plântulas sem contato com Al. Trata-se de uma avaliação percentual dos efeitos dos tratamentos. Os resultados dessa avaliação indicaram que ocorreu diminuição da ERR% em todos os tratamentos contendo Al, em ambos os experimentos. Para o tratamento com as maiores concentrações de Al na solução, no experimento com solução nutritiva simples (200  $\mu\text{M}$ ) a taxa de redução foi da ordem de 88,69%. Em solução nutritiva completa (300  $\mu\text{M}$ ) esta taxa foi de 69,28%. Estes resultados apontam sensibilidade da espécie *Bauhinia variegata* à toxicidade do Al. Resultados semelhantes foram encontrados por Vasconcelos Filho (2014), seus estudos realizados com *Anacardium othonianum* Rizz, espécie arbórea típica do cerrado brasileiro, indicaram que, em solução nutritiva simples, há queda do crescimento radicular em valor de 64%, na concentração de 1200  $\mu\text{M}$  de Al. Vasconcelos et al. (2002), em estudo utilizando a ERR para a avaliação da toxicidade de Al em cultivares de arroz, concluíram que este parâmetro foi suficiente para identificação de diferenças de tolerância entre as cultivares estudadas, mesmo em baixas concentrações. Segundo Ryan et al. (1993), a toxicidade do Al é manifestada pela redução da taxa de ERR, mesmo após uma breve exposição das raízes a este elemento.

Os sintomas visuais da toxidez também foram semelhantes nos dois experimentos. Observou-se, nos tratamentos sem Al (testemunha), raízes principais finas com coloração clara e uniforme. Nos tratamentos com Al, em todas as doses, as raízes apresentaram sintomas típicos de toxidez: encurtamento da raiz principal; engrossamento e escurecimento dos ápices. Também foi observado um menor número de raízes secundárias, sendo que estas foram curtas

e grossas, quando comparadas ao tratamento sem Al. Os sintomas de toxidez observados nestes experimentos concordam com os relatados por Braccini et al. (2000), em estudo da tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al. Resultados similares também foram observados por POLESE (2013) em estudo utilizando plântulas de *Delonix regia*. Beutler et al. (2001) em estudo que avaliou os efeitos do Al sobre o crescimento das espécies florestais *Moringa oleífera* e *Anadenanthera peregrina*, constataram que o Al causou redução do desenvolvimento radicular nestas espécies. Peixoto et al. (2007) também observaram engrossamento dos ápices de raízes de duas cultivares de sorgo, cultivadas em solução nutritiva na presença de Al.

No experimento 3, com mudas de aproximadamente 10 meses de idade, ao final de 60 dias em solução nutritiva simples as plantas de *Bauhinia variegata* não apresentaram crescimento de raiz e a da parte aérea. É conhecido que o efeito tóxico do Al pode causar redução ou paralisação do crescimento radicular (FOY et al., 1978; RYAN et al. 1993; SIVAGURU e HORST, 1998; SIMONOVICOVA et al., 2004), porém, neste caso, não se pode apontar este efeito como sendo próprio da toxicidade do Al pois o mesmo também ocorreu no tratamento sem Al.

Para os tratamentos contendo Al na solução, ocorreu aumento de volume das raízes. Aparentemente, este aumento está associado ao aumento em diâmetro das raízes, que foi maior conforme incremento nas doses de Al, sendo semelhante nas duas maiores doses. Este efeito está de acordo com o exposto por Kochian (1992) Pavan e Bingham (1982), ao relatarem que a toxidez do Al pode provocar aumento do diâmetro das raízes. Veloso et al. (1995) avaliaram os efeitos do Al em mudas de pimenteiras do reino, sob cultivo hidropônico, e encontraram resultados semelhantes aos revelados neste trabalho, com diminuição do crescimento e aumento do diâmetro radicular.

A formação de lenticelas que se observou em todos os tratamentos pode estar associada ao sistema de hidroponia, que mesmo em aeração constante oferece condição de menor disponibilidade de oxigênio para as raízes. A formação de grande número de lenticelas é relatada como própria de condições de alagamento, devido a diminuição da disponibilidade de oxigênio (PIMENTA et al., 1996; MEDRI et al., 1998).

Pode-se estimar que a formação de mucilagem observada nas raízes das mudas submetidas aos tratamentos com Al seja em função da presença deste elemento na solução, sendo a mucilagem um mecanismo de proteção aos seus efeitos tóxicos. Em solos ácidos, atribui-se à mucilagem, dentre outras, a função de proteger o meristema da raiz dos efeitos tóxicos do Al (MICHEREFF et al., 2005).

Já no experimento com solo (experimento 4), onde foi estudado o efeito da acidez do solo e da resposta à calagem, K e P sobre o crescimento inicial de *Bauhinia variegata*, os resultados revelaram que o calcário produziu efeito significativo sobre os parâmetros peso de massa seca de raiz e parte aérea e comprimento de parte aérea. Para o parâmetro de comprimento de raiz foi significativa apenas a interação entre calcário e K. Para todos os parâmetros avaliados não houve efeito significativo dos elementos K e P, nem da interação entre eles.

O solo utilizado neste estudo era ácido e com alto teor de Al trocável. A aplicação de calcário favoreceu o desenvolvimento das plantas de acordo com os parâmetros avaliados. A elevação do pH através da calagem promove a neutralização do Al, evitando seus efeitos tóxicos sobre o crescimento e desenvolvimento das plantas (MARSCHNER, 1991). Os resultados significativos no incremento de massa seca de raiz e de parte aérea que foram observados a partir da aplicação de calcário, estão de acordo com os relatados por NAIDU et al. (1990), em estudo que revelou que a calagem promoveu o crescimento e maior produção de matéria seca de *Leucaena leucocephala*. De forma diferente, Gomes et al. (2004) em trabalho com *Anadenanthera colubrina*, não encontraram resposta à calagem. Furtini Neto et al. (1999) ao estudarem o efeito da acidez no crescimento inicial de quatro espécies florestais em solo ácido,

concluiriam que o Al foi o fator de maior limitação ao desenvolvimento das espécies, inibindo tanto o crescimento quanto a aquisição de nutrientes. Estes mesmos autores constataram que a calagem favoreceu o crescimento em altura, diâmetro e produção de biomassa das espécies estudadas.

A verificação das doses críticas de calcário que se estabeleceu através das análises de regressão pode ser fator importante para o estabelecimento de plantios com o uso mínimo de corretivos em solos ácidos. A calagem além de promover a neutralização do Al, aumenta a disponibilidade de nutrientes no solo (ERNANI, 2008). Vale et al. (1996) ao estudarem o crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido, observam comportamento distinto entre as espécies em sua capacidade de desenvolver raízes em subsolo ácido. Neste estudo, os autores verificaram que as espécies *Acacia mangium* e *Peltophorum dubim* têm o crescimento radicular menos afetado em condições de solo ácido.

Os resultados destes experimentos indicam que *Bauhinia variegata* apresenta sensibilidade à toxicidade do Al, com redução do crescimento radicular na presença deste elemento. A planta responde favoravelmente à aplicação de calcário.

## 7. CONCLUSÃO

- O Al afeta o crescimento das raízes de *Bauhinia variegata* L. reduzindo o crescimento das mesmas.
- A dose de Al onde ocorreu a menor taxa de crescimento radicular foi de 151,48  $\mu\text{M}$  em solução nutritiva simples. Em solução nutritiva completa a paralisação total do crescimento radicular ocorreu na dose de 388,72  $\mu\text{M}$ .
- O Al provoca aumento do diâmetro das raízes de mudas de *Bauhinia variegata* L. a partir da concentração em solução de 400  $\mu\text{M}$ .
- A aplicação de calcário em solo ácido favorece o crescimento de plantas de *Bauhinia variegata* L., resultando em maiores valores de peso de massa seca de raízes e peso de massa seca de parte aérea.

## CAPÍTULO II – AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE DIFERENTES TIPOS DE PODA, ASSOCIADO AO USO DE ALUMÍNIO COMO INIBIDOR DE CRESCIMENTO.

### 8. INTRODUÇÃO

O ambiente urbano de cidades metropolitanas, ou mesmo cidades de interior, apresentam condições ecológicas e de ordenamento territorial que exigem urgência na tomada de decisão para sua gestão social e ambiental (MARQUES, 2005). O desenvolvimento econômico, o crescimento imobiliário e os consequentes adensamento populacional e aumento da frota de carros, geram condições de especial relevância no que diz respeito às condições de microclima, poluição sonora e do ar, diminuição de espaço nas ruas e calçadas e aumento da demanda de energia elétrica, com maiores consequências nos casos de interrupção de fornecimento (COELHO, 2001).

A presença das árvores nas ruas proporciona benefícios relacionados a estas questões, tais como: melhoria do microclima, com diminuição da intensidade de ilhas de calor; atenuação da poluição do ar, pela retenção de partículas sólidas e consumo do CO<sub>2</sub> atmosférico; as copas das árvores absorvem a energia sonora impedindo que os sons sejam refletido continuamente, resultando na diminuição da poluição sonora; ambientes arborizados causam sensação de conforto aos habitantes e transeuntes, o que pode se caracterizar como importante fator para a saúde humana; os habitantes criam uma relação de identidade com a arborização das ruas e bairros; a presença de árvores pode ser um importante elemento para a valorização de imóveis; e, por fim, as árvores fazem parte da identidade social, cultural e história das cidades (MILANO e DALCIN, 2000; ROSSETTI *et al.*, 2010; SILVA, 2008).

Por outro lado, existem conflitos relacionados à presença das árvores nas ruas e calçadas. Uma questão de maior relevância está associada à sua interferência nas redes de distribuição de energia elétrica. As copas das árvores podem atingir a fiação e ocasionar deste a interrupção do fornecimento de energia até acidentes que podem provocar a mortes. Para evitar tais problemas, podas são efetuadas periodicamente. Em geral, são realizadas pelas prefeituras e/ou pelas concessionárias de energia elétrica e apresentam alto custo (LE MOS, 2015; POLESE, 2013; ROSSETTI *et al.*, 2010; VELASCO, 2003; MILANO e DALCIN, 2000).

A poda realizada nas árvores em ambiente urbano visam manter os benefícios da arborização, diminuindo os conflitos com os equipamentos urbanos. Segundo Prieur (2006), a poda é um método de promover a adequação do vegetal aos objetivos traçadas pelo homem. Neste sentido, Biondi e Althaus (2005) consideraram que a poda está entre as práticas de manejo que proporcionam maior intervenção nas árvores e impacto visual.

A otimização do processo de podas pode gerar vantagens que minimizem os conflitos com os equipamentos urbanos e permitam o melhor aproveitamento dos benefícios da arborização. Melhores resultados, como diminuição do número de podas por período (menor frequência), devem promover a redução dos custos, aumento da segurança e menor probabilidade de interrupção de fornecimento de energia elétrica (SEITZ, 1990; CASTRO, 1998; VELASCO, 2003).

A espécie objeto deste estudo, *Bauhinia variegata* L., foi escolhida pela sua relevância na arborização as cidades. Possui sistema radicular que oferece poucos riscos às construções e ao mobiliário urbano, conformação da copa e flores com belo aspecto ornamental. Devido a estas características, têm sido amplamente recomendadas para a arborização viária (CARVALHO, 2003; SILVA *et al.*, 2003). O objetivo deste estudo foi avaliar três tipos de poda de galhos de árvores adultas desta espécie e o efeito da aplicação de Al na rebrota e no desenvolvimento dos brotos.

## 9. MATERIAL E MÉTODOS

### 9.1 Experimento 1: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento

O experimento foi instalado em uma rua da UFRRJ, *campi* Seropédica - RJ onde predominava ao longo da mesma, plantas adultas de *Bauhinia variegata*. A seleção das árvores foi realizada observando os aspectos visuais de sanidade e parâmetros biométricos, sendo estes: diâmetro a altura do peito, tendo as mesmas o diâmetro médio de 48 cm; e altura vertical, com valor médio de cerca de 5,5 m.

Foram avaliados 6 tratamentos, que consistiram de: corte rente ao troco principal; corte a 20 cm do tronco principal; corte a 40 cm do tronco principal; corte rente ao troco principal com aplicação de cloreto de alumínio; corte a 20 cm do tronco principal com aplicação de cloreto de alumínio; corte a 40 cm do tronco principal com aplicação de cloreto de alumínio, com 4 repetições e avaliados. As avaliações foram realizadas em 8 épocas (após a instalação do experimento). O Al foi aplicado na forma de  $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , em solução aquosa na concentração 3 M, sendo 2 mL por galho podado. A forma de aplicação consistiu na realização de um furo de 7 mm de diâmetro por 40 mm de profundidade. O instrumento utilizado para a realização do furo foi uma furadeira manual arco de pua, com broca para madeira (Figura 12). Esta broca é conhecida comercialmente como “ferro de pua”, e possui as seguintes características: rosca composta por dois canais, sendo que a navalha de corte possui duas arestas principais de corte e duas arestas laterais, localizadas abaixo das duas arestas principais. Quando da ocorrência de acúmulo de material no furo, este foi retirado utilizando uma broca comum para madeira, de 1/4". O furo foi localizado próximo a casca (Figura 11) quando aplicado no toco, e no diâmetro final do corte, no caso do corte rente (Figura 12).

A aplicação da solução de Al foi realizada utilizando uma seringa com capacidade para 3 mL, com agulha fina, injetada diretamente no furo, logo após o corte do galho ser realizado (Figura 11). O uso desta seringa para aplicação da solução de alumínio foi planejado à semelhança de um quite de injeção de baixa pressão. Após a aplicação, o local foi coberto com filme plástico, que foi retirado 7 dias após a poda (Figura 13). Os galhos podados tinham o diâmetro médio de 13 cm.

Foram realizadas 8 avaliações, em períodos regulares, sendo analisados os comprimento e os diâmetro dos brotos, medidos com régua métrica e paquímetro. Os brotos foram identificados com etiquetas de plástico.

Para análise estatística foi realizado um arranjo fatorial entre 7 épocas de coleta dos dados e os 6 tratamentos. Os dados foram submetidos à análise de variância (programa estatístico ASSISTAT), testado sua normalidade, foi utilizado o teste-F a nível de probabilidade de 5%, sendo posteriormente realizada teste de Tukey.



**Figura 11.** Furo realizado após a poda de galho de *Bauhinia variegata* L. deixando toco de 20 cm, e aplicação de solução de solução de cloreto de Al com o uso de seringa. Experimento 5.



**Figura 12.** Realização de furo com arco de pua e broca para madeira, após a realização de poda com corte rente em galho de *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.

**Figura 13.** Filme plástico cobrindo toco de 20 cm, onde foi aplicada solução de cloreto de Al, após realização de poda em *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.

## 10. RESULTADOS

### 10.1 Experimento 5: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento

A análise de variância do número de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores de *Bauhinia variegata*, pode ser observada na tabela 12. Ocorreu efeito significativo da época de avaliação (75, 90, 105, 120, 150, 180 e 210 dias após a poda) e dos tratamentos (corte rente ao caule, corte com toco de 20 cm, corte com toco de 40 cm, corte rente com aplicação de Al, corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al, corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al), e não ocorreu a interação entre eles (Tabela 12).

**Tabela 12.** Análise de variância do número médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.

Fonte de variação	GL	QM	F
Época	6	18,99603	6,2331 **
Tratamentos	5	45,62381	14,9703 **
Época x Tratamentos	30	2,39603	0,7862 ns
Resíduo	126	3,04762	
Total	167		

\*\* significativo em nível de 1% ; ns não significativo; CV (%) = 117,31

**Tabela 13.** Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no número de brotos de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Época (Dias após a poda)	Número de brotos
75	0,66 c
90	0,70 c
105	0,70 c
120	1,08 bc
150	2,16 abc
180	2,62 a
210	2,45 ab

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Na tabela 13, podem ser observados os dados médios do efeito isolado da época de avaliação (Tabela 13) do número de brotos emitidos após a poda. Não houve diferença significativa entre o número de brotos emitidos até os 150 dias após a poda. Não ocorreram diferenças entre

as épocas de avaliação realizadas aos 150, 180 e 210 dias, e nem entre 120, 150 e 210 dias após a poda, pelo teste Tukey 5%.

O efeito isolado dos tratamentos na emissão de brotação pode ser observado na tabela 14. O tratamento com toco de 40 cm mais alumínio diferiu de todos os demais tratamentos apresentando o maior número de brotos. Os tratamentos com corte rente, independentemente de ter recebido ou não alumínio produziu o menor número de brotos. O corte com toco de 20 cm, corte com toco de 40 cm e corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al, foram estatisticamente iguais quando comparados pelo teste Tukey 5%.

**Tabela 14.** Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no número de brotos por planta de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Tratamentos	Número de brotos
Corte rente	0,39 cd
Corte com toco de 20 cm	2,10 b
Corte com toco de 40 cm	1,46 bc
Corte rente mais aplicação de Al	0,00 d
Corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al	1,39 bc
Corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al	3,57 a

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

**Tabela 15.** Análise de variância do diâmetro médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.

Fonte de variação	GL	QM	F
Época	6	144,45193	12,2984 **
Tratamentos	5	78,87515	6,7153 **
Época x Tratamentos	30	7,33697	0,6247 ns
Resíduo	126	11,74556	
Total	167		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ) \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ), ns não significativo ( $p \geq .05$ ). CV(%)= 103,76

A análise de variância dos dados do diâmetro médio dos brotos (Tabela 15) mostrou efeito significativo para época de avaliação e para o tratamento. A interação entre estes fatores não foi significativa.

O diâmetro médio dos brotos alterou significativamente como o passar do tempo (Figura 16). Até a avaliação realizada aos 120 dias após a poda não ocorreu diferença no diâmetro dos brotos, posteriormente, da avaliação aos 150 dias após a poda até a 200 dias, não ocorreu mais diferenças entre elas.

**Tabela 16.** Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no diâmetro de brotos de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Época (Dias após a poda)	Diâmetro dos brotos (mm)
75	0,97 b
90	1,06 b
105	1,45 b
120	2,05 b
150	5,03 a
180	6,11 a
210	6,42 a

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O diâmetro médio do tratamento com corte rente mais aplicação de Al (Figura 17) diferiu dos demais por não ocorrer crescimento de brotos. Não houve diferença significativa para o diâmetro dos brotos entre os demais tratamentos.

**Tabela 17.** Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no diâmetro de brotos por planta de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Tratamentos	Diâmetro dos brotos (mm)
Corte rente	3,34 a
Corte com toco de 20 cm	4,16 a
Corte com toco de 40 cm	4,00 a
Corte rente mais aplicação de Al	0,00 b
Corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al	3,64 a
Corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al	4,65 a

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

O comprimento médio dos brotos (Figura 18) pode ser considerado o principal fator na análise desde trabalho, visto que é o comprimento que pode, em caso de transmissão de energia elétrica, causar interrupção do processo. A análise do comprimento médio de broto por planta indicou que as épocas de avaliação foram significativas a 1% de probabilidade. Já o efeito dos tratamentos foi significativo a 5% pelo teste F, não sendo significativa a interação entre estes fatores.

**Tabela 18.** Análise de variância do comprimento médio de brotos por planta emitidos após a poda de galhos de árvores adultas de *Bauhinia variegata* L. Experimento 5.

Fonte de variação	GL	QM	F
Época	6	9256,45147	9,7182 **
Tratamentos	5	2868,34402	3,0114 *
Época x Tratamentos	30		ns
Resíduo	126	952,48867	
Total	167		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ) \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ), ns não significativo ( $p \geq 0,05$ ). CV (%) = 161,04

**Tabela 19.** Dados médios do efeito isolado da época de avaliação no comprimento de brotos de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Época (Dias após a poda)	Comprimento dos brotos (cm)
75	3,15 c
90	3,81 c
105	5,20 c
120	10,07 bc
150	21,67 bc
180	35,32 ab
210	54,90 a

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As épocas influenciaram o comprimento dos brotos (Tabela 19), sendo a avaliação realizada aos 210 dias a que foi significativamente diferente de todas as épocas, com exceção da avaliação realizada aos 180 dias. Da avaliação realizada aos 75 dias até 180 dias após a poda, os resultados não apresentaram diferença significativa pelo Teste Tukey 5%.

O comprimento dos brotos, foi também afetado pelos tratamentos testados (Tabela 20), sendo o maior comprimento médio no tratamento onde foi deixado toco com 40 cm, embora este não tenha sido diferente dos tratamentos com corte rente, corte onde foi deixado toco com 20 cm. Os tratamentos onde foi aplicado alumínio e deixado toco de 20 e 40 cm foram iguais, indicando efeito deste elemento no comprimento dos brotos.

**Tabela 20.** Dados médios do efeito isolado dos tratamentos no comprimento de brotos por planta de *Bauhinia variegata* L., crescidos após a poda. Experimento 5.

Tratamentos	Comprimento dos brotos (cm)
Corte rente	22,45 ab
Corte com toco de 20 cm	26,61 a
Corte com toco de 40 cm	27,98 a
Corte rente com aplicação de Al	0,0 b
Corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al	18,37 ab
Corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al	19,55 ab

As médias seguidas pelas mesmas letras na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 11. DISCUSSÃO

### 11.1 Experimento 5: Avaliação da eficiência de diferentes tipos de poda, associado ao uso de alumínio como inibidor de crescimento

A poda pode ser realizada de forma a atender objetivos diversos como a renovação vegetativa, visando o aumento de produção em frutíferas (INGLEZ de SOUZA, 2005) ou a quebra de dormência apical de maneira a promover o crescimento de ramos laterais (ONO et al., 2004; GIAMPAN et al., 2005). De outra forma, a finalidade deste estudo foi avaliar o tipo de corte realizado na poda que resultaria em menor formação de brotações em *Bauhinia variegata*. O Al foi utilizado como possível inibidor de desenvolvimento ou crescimento das brotações. Objetivou-se avaliar qual tipo de corte realizado na poda resultaria em maior eficiência de resultado, com menor número e menor crescimento de brotações.

Foi observado em campo que ocorreu cicatrização normal em todos os tratamentos realizados. A figura 14 A e B apresenta o aspecto da cicatrização no corte rente com aplicação de Al (Figura 14A) e no corte rente sem aplicação de Al (Figura 14B), 60 dias após a poda.



**Figura 14 AB.** Aspecto visual de cicatrização da corte rente, 60 dias após a poda, em *Bauhinia variegata* L. **A.** com aplicação de Al; **B.** sem aplicação de Al.

As observações de campo, no caso deste experimento, são de especial relevância pois há grande variabilidade das medidas avaliadas. Por se tratar de plantas de fecundação cruzada, espera-se um alto grau de variabilidade genética, o que pode, em parte, justificar os altíssimos valores de coeficiente de variação revelados pelas análises estatísticas.

Foram realizadas 8 avaliações a partir da instalação do experimento. Na primeira avaliação, aos 60 dias após a poda, não foi verificada formação de brotações em nenhum dos tratamentos. O início das brotações foi observado aos 75 dias. O efeito significativo ( $p \leq 0,01$ ) da época de avaliação em relação ao número e ao comprimento de brotos demonstrou que até os 150 dias após a poda não houve diferença dos períodos iniciais. Já em relação ao diâmetro, a diferença entre as épocas de avaliação ocorreu a partir dos 150 dias. O corte rente sem aplicação de alumínio apresentou resultados estatisticamente iguais (Tukey a 5%) aos dos demais tratamentos em relação ao comprimento e ao diâmetro dos brotos. Em relação ao número de brotos, diferiu estatisticamente dos tratamentos de corte com toco de 20 cm e de corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al. As brotações verificadas em campo para este tratamento foram em número reduzido (2 repetições com uma brotação cada). No entanto, estes brotos aos 210 dias após a poda, tinham grande comprimento (acima de 200 cm) e diâmetro médio de 13 mm. Neste caso, mesmo o reduzido número de brotações implica em um resultado desfavorável aos objetivos da poda realizada em área urbana. Por exemplo, sob redes de distribuição elétrica, pois estas brotações vigorosas possuem potencial de interferência nas redes. Estes resultados diferem dos encontrados por Lemos (2015), que em estudo semelhante realizado com a espécie arbórea *Acacia mangium*, verificou que o corte rente não propiciou a formação de brotações até os 378 dias após a poda. Polese (2013) observou que não ocorreu crescimento de brotações até os 145 dias após a poda com corte rente realizado na poda da espécie arbórea *Clitoria fairchildiana* Howard. Neste presente trabalho, o corte rente com aplicação de Al ofereceu os melhores resultados, não ocorrendo crescimento de brotações até os 210 dias após a poda. Através do teste de Tukey a 5% não foram encontradas diferenças significativas entre as médias dos tratamentos com corte rente e corte rente mais aplicação de Al, para o número e para o comprimento de brotos.

Apesar de não se comprovar diferença estatística entre as médias, os tratamentos com corte rente mais aplicação de Al, corte com toco de 20 cm mais aplicação de Al e corte com toco de 40 cm mais aplicação de Al resultaram nos menores valores de comprimento das brotações. Para confirmar a eficiência do Al como inibidor de crescimento de brotações após a poda, é necessário a realização de mais estudos e por períodos mais prolongados. São raros os estudos neste sentido, porém, alguns resultados já são relatados na literatura. Lemos (2015) constatou que o tratamento com Al aplicado após a poda na espécie *Licania tomentosa* resultou em menor número de brotações. Os resultados de Polese (2013) e Lemos (2015) não foram conclusivos com relação ao uso de Al como inibidor de crescimento. Estes autores aplicaram Al diretamente sobre o caule podado e na forma de sulfato de alumínio, o que difere do método aqui proposto com o uso de cloreto de alumínio. Lemos (2015) utilizou parafina na tentativa de segurar o Al aplicado, resultando, para alguns tratamentos, no aumento das brotações. Entretanto, aqui neste experimento com *Bauhinia variegata*, foi realizado um furo e usado uma proteção plástica. A proteção plástica foi deixada por 7 dias após a aplicação do Al, isso talvez tenha feito a diferença, comprovando a eficácia do uso do alumínio com inibidor de crescimento. Basso et al (2007) realizaram estudos com sementes de clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* cultivado *in vitro* e avaliaram que a aplicação de alumínio em doses crescentes no meio de cultura resultou em redução do crescimento das brotações e alterações morfológicas nas brotações, como o enrijecimento das folhas e alteração na coloração do verde para o amarelo. Apesar de este último trabalho ter sido realizado com plântulas, indicou efeito em um substrato de crescimento diferente de solo e solução nutritiva.

Aos 210 dias após a poda, os dados tabelados indicaram que houve grande amplitude de variação em relação ao comprimento e ao diâmetro dos brotos. Os maiores brotos possuíam comprimento médio de 220 cm, enquanto que os menores possuíam um comprimento médio de 20 cm. Quanto ao diâmetro, a variação foi de, aproximadamente, 15 mm para os maiores e 4 mm para os menores brotos.

## **12. CONCLUSÃO**

- Quando a poda foi realizada rente ao tronco principal e com aplicação de AI não foram observadas brotações até a última avaliação feita aos 210 dias após a poda. Na poda realizada sem aplicação de AI ocorreram brotações.
- Nas podas deixando toco de 20 e 40 cm, com ou sem aplicação de AI, ocorreram brotações.

### 13. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHN, S.J.; SIVAGURU, M.; CHUNG, G.C.; Rengel, Z.; Matsumoto, H. Aluminum-induced growth inhibition is associated with impaired efflux and influx of H<sup>+</sup> across the plasma membrane in root apices of squash (*Cucurbita pepo*). **Journal of Experimental Botany**, v.53, p.59–66, 2001.

ANGEL, M. H.; BACALLAO, L. G.; DOMINGUEZ, D. M. R.; PADILLA D. O. Almendro de la India: potencial biológico valioso. **Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas**, v. 22, n. 1, 2003.

BACKES, A. e FERNANDEZ, S. M. Arvoretas para uso em arborização urbana no Rio Grande do Sul. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 3., 1990, Curitiba. Anais. Curitiba: FUPEF, 1990. p. 315-323.

BALIGAR, V.C.; SCHAFFERT, R.E.; SANTOS, H.L.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, C. Soil aluminium effects on uptake, influx, and transport of nutrients in sorghum genotypes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 150, n. ½, p.271-277, Mar. 1993.

BALIGAR, V.C.; SCHAFFERT, R.S.; SANTOS, H.L.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, C. Soil aluminium effects on uptake, influx, and transport of nutrients in sorghum genotypes. **Plant and Soil**, The Hague, v.150, n.1/2, p. 271-277, Mar. 1993.

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

BASSO, L. H. M.; LIMA, G. P. P.; GONÇALVES, A. N.; VILHENA, S.M.C.; PADILHA, C.C.F. (2007), Effect of aluminum on the free polyamines content and acid phosphatase activity during the growth of *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* shoots cultivated *in vitro*. *Scientia Forestalis*, **75**, 9-18.

BEUTLER, A.N. et al. Efeito do alumínio sobre o crescimento de duas espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.25, p.923-928, 2001.

BIONDI, D.; ALTHAUS, M. **Árvores de rua de Curitiba**: cultivo e manejo. Curitiba: FUPEF, 2005.

BLOEM, S. J. van; MURPHY, P.G.; LUGO, A.E. Sprouting on undamaged tree stems after Hurricane Georges In: ed. F W Telewski; L Köhler; F W Ewers, 4th International Plant Biomechanics Conference Proceedings, 2003. Michigan State University, East Lansing, MI.

BRACCINI, M.C.L.; MARTINEZ, H.E.P.; SILVA, E.A.M.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C. A. Crescimento da planta e coloração das raízes com hematoxilina como critérios de avaliação de genótipos de café quanto à tolerância à toxidez de alumínio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 24, n. 1, p. 59-68, 2000.

BRICKELL, C. **A poda**. Mens Martins: Europa-América, 1979. 228 p.

BRUN, E. J.; DA ROSA, S. F.; ROPPA, C.; SCHUMACHER, M. V.; BRUN, F. G. K. Avaliação nutricional de espécies nativas utilizadas na arborização do campus da Universidade Federal de Santa Maria-RS. REVSBAU, Piracicaba – SP, v.7, n.1, p. 89-111, 2012.

CAMPBELL, K. A. G.; CARTER JUNIOR, T. E. CARVALHO, P. E. R. Pata-de-vaca. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 12 p. Embrapa Florestas. Circular Técnica, 74.

CARVALHO, P. E. R. Pata-de-vaca. Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 12 p. Embrapa Florestas. Circular Técnica, 74.

CASTRO, N.S. de. **Poda e redes elétricas**. Porto Alegre: PMPA, 1998, 10p. (Apostila do Mini-curso sobre capacitação e treinamento para serviços em árvores urbanas, IV Congresso Brasileiro de Arborização Urbana)

CESTARO, L. A. Vegetação no ecossistema urbano. In: Encontro Nacional sobre Arborização Urbana, 1985. **Anais...** Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 1985. p. 103-105.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: Teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: **Impactos ambientais urbanos no Brasil**. GERRA, A. J.; CUNHA, S. B. (orgs). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2001. p 19-45.

CORRALES, I.; POSCHENRIEDER, C.; BARCELÓ, J. Boron-induced amelioration of aluminum toxicity in a monocot and a dicot species. *Journal Plant Physiology*. v.165, p.504–513, 2008.

COSTA, S. A. da. **Arborização das cidades**. Campinas: CATI, 1976. 25p.

CUENCA, G.; HERRERA, R.; MEDINA, E. Aluminium tolerance in trees of a tropical cloud forest. **Plant and Soil**, The Hague, v.125, n.1/2, p.169-175, June 1990.

DEAN, W. **A ferro e fogo**: a história da devastação da mata atlântica brasileira. São Paulo: Companhia das letras. 1998. 484 p.

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

DOS SANTOS, I. C. F. et al. Studies of Terminalia catappa L. oil: Characterization and biodiesel production. **Bioresource Technology**. v. 99. n. 14, p. 6546 – 6549. Set. 2008.

FOY, C. D.; CHANEY, R. L.; WHITE, M. C. The physiology of metal toxicity in plants. *Annual Review of Plant Physiology*, v. 29, p.511-56, 1978.

FOY, C.D. Effects of aluminum on plant growth. In: CARSON, E.W. (ed.). **The plant root and its environment**. Charlottesville : The University of Virginia, 1974. p.601-642.

FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V.; VALE, F.R.; FAQUIM, V.; FERNANDES, L.A. Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de mudas. **Revista Cerne**. 5(2): 1-12. 1999.

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

GOMES, K. C. O. et al. Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. **Revista Árvore**, v.28, n.6, p.785-792, 2004.

GREVENSTUK, T., ROMANO, A. Aluminium speciation and internal detoxification mechanisms in plants: Where do we stand? **Metallomics**, v.5, p. 1584-1594, 2013.

GUPTA, N.; GAURAV, S.S.; KUMAR, A. Molecular Basis of Aluminium Toxicity in Plants: A Review. **American Journal of Plant Sciences**, v.4, p-21-37, 2013.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v.20 (3), p.183-195, 2008.

INGLEZ de SOUZA, J. S., A Poda das Plantas Frutíferas. Nova. Ed. rev. e atualiz. São Paulo: Nobel, 2005, 193 p.

KAMPRATH, E.J.; FOY, C.D. Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils. In: ENGELSTAD, O.P. (ed.). **Fertilizer technology and use**. 3.ed. Madison: SSSA, 1985. p.91-151.

KINRAID, T.B. Identity of the rhizotoxic aluminium species. **Plant and Soil** 134, p. 167-178. 1991.

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.; SHAFF, J.E.; KUHTREIBER, W.M.; JAFFE, L.F.; LUCAS, W.J. Use of an extracellular, ion-selective vibrating microelectrode system for the quantification of K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup> and Ca<sup>2+</sup> fluxes in Mayze roots and Mayze suspension of K<sup>+</sup>, H<sup>+</sup> and C<sup>2+</sup> fluxes in maize roots and maize suspension cells. *Planta*, v. 188, p. 601-610, 1992.

LANGOWSKI, E. ; KLECHOWICZ, N. A. **Manual prático de poda e arborização urbana**. 3.ed. Cianorte: APROMAC, 2001. 42p.

LEMOS, J. J. Minimização dos processos de emissão de novas galhos após a realização da poda em árvores utilizadas na arborização urbana: importância para o setor elétrico. 249 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2015.

LEMOS, J. J. e JACOB NETO, J. Estudo do manejo da poda em plantas de flamboyant (*Delonix regia*): Influência no custo de manutenção da linha de distribuição. In: XX SENDI, 2012. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2012. p. 102-103.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 352 p.

LUSA, M.G.; BONA, C. Análise morfoanatômica comparativa da folha de *Bauhinia forficata* Link e *B. variegata* Linn. (*Leguminosae, Caesalpinioideae*). **Acta Bot Bras.** 23(1):196-211. 2009.

MAGNAVACA, R.; BAHIA FILHO, A.F.C. Seleção de milho para tolerância ao alumínio. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, 30p, 1991.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFÓS, 1989. 201p.

MARQUES, J. C. **Meio ambiente urbano**. 1 ed. Forense Universitária, 2005.

MARSCHNER, H. Mechanisms of adaptation of plants to acid soils. **Plant and Soil**, The Hague, v.134, n.1, p.1-20, July 1991.

MEDEIROS, L. S. e DANTAS, I. C. Danos causados ao patrimônio público e particular na cidade de Campina Grande / PB por espécies indevidamente utilizadas na arborização urbana. **Revista de Biologia e Farmácia**. Campina Grande, v.1, n. 1, p 120-126. 2007.

MEDRI, Moacyr E.; BIANCHINI, Edmilson; PIMENTA, José A.; DELGADO, Marcos F.; CORREA, Geraldo T. Aspectos morfo-anatômicos e fisiológicos de *Peltophorum dubium* (Spr.) Taub. submetida ao alagamento e à aplicação de etrel. **Revta. brasil. Bot.**, São Paulo, v. 21, n. 3, Dec. 1998 .

MELLO FILHO, L.E. de. Arborização urbana. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1985, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1985. p.51-56.

MELO, R.R.; LIRA FILHO J.A.; RODOLFO JÚNIOR, F. Diagnóstico Qualitativo e Quantitativo da Arborização Urbana no Bairro Bivar Olinto, Patos, Paraíba. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba, v.2, n.1, p.64-80. 2007.

MENESES, C. H. S. G; SOUSA, E. B. M.; MEDEIROS, F. P. M.; MENEZES, I. R.; ALBUQUERQUE, H. N.; SANTOS, L. Análise da arborização dos bairros do Mirante e Vila Cabral na cidade de Campina Grande. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. Campina Grande, v.3, n. 2, p 120-126. 2003.

MILANO, M. S. e DALCIN, E. **Arborização de vias públicas**. Rio de Janeiro: Fundação Parques e Jardins - Prefeitura do Rio. Light, 2000. 226p.

MILANO, M.S. Arborização de ruas de Curitiba, PR: uma análise qualitativa. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA, 1985, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 1985. p.83-86.

MOTODA, H.; KANO, Y.; HIRAGAMI, F.; KAYAMURA, K.; MATSUMOTO, H. Morphological changes in the apex of pea roots during and after recovery from aluminium treatment. **Plant and Soil**, v. 333, n. 1-2, p. 49-58, 2010.

NAIDU, R.; TILLMAN, R.W.; SYERS, J.K.; KIRKMAN, J.H. Lime-aluminium-phosphorus interactions and the growth of *Leucaena leucocephala* II. Chemical composition. **Plant and Soil**, The Hague, v.126, n.1, p.9-17, Aug. 1990.

NISIZAKI, S. M. A.; ZANGARO FILHO, W. Efeito da inoculação de fungos micorrízicos arbusculares indígenas, no desenvolvimento de 12 espécies arbóreas nativas da bacia do Rio Tibagi. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 47., 1996, Nova Friburgo. Resumos. Rio de Janeiro: Sociedade Botânica do Brasil, 1996. p. 385.

NOGUEIRA, N. W.; LIMA, J. S. S. de.; FREITAS, R. M. O. de.; RIBEIRO, M. C. C.; LEAL, C. C. P.; PINTO, J. R. de S. Efeito da salinidade na emergência e crescimento inicial de plântulas de flamboyant. *Revista Brasileira de Sementes*, vol. 34, nº 3 p. 466 - 472, 2012.

PAIVA, E.; ROBITAILLE, H. Breaking bud rest on detached apple shoots: effects of wounding and ethylene. *Journal of American for Horticultural Science*, Mount Vernon, v. 103, n. 1, p. 101-104, 1978.

PAVAN, M.A. & BINGHAN, F.T. Toxidez de alumínio em cafeeiros cultivados em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 17, n. 9, p.1293-1302, 1982.

PEIXOTO, P. H. P.; PIMENTA, D. S.; CAMBRAIA, J. Alterações morfológicas e acúmulo de compostos fenólicos em plantas de sorgo sob estresse de alumínio. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n.1, p.17-25, 2007.

PIMENTA, J.A., MEDRI, M.E., BIANCHINI, E., MULLER, C., OKAMOTO, J.M., FRANCISCONI, L.M.J. & CORREA, G.T. 1996. Aspectos da morfoanatomia e fisiologia de *Jacaranda puberula* Cham. (Bignoniaceae) em condições de hipoxia. *Revta brasil. Bot.* 19:215-220.

POLESE, V. Efeito de inibidores de crescimento e do tipo de poda em plantas utilizadas na arborização. 2013. 89p Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2014.

PRIEUR, P. La Taille Raisonnée des arbustes d'ornement. Les Éditions Eugen Ulmer, Paris. 2006.

RENGEL, Z. Role of calcium in aluminum toxicity. *New Phytol.* 121: p.499-513, 1992.

RITCHIE, G.S.P. Role of dissolution and precipitation of minerals in controlling soluble aluminum in acidic soils. **Advances in Agronomy**, v. 53, p. 47-83, 1994.

ROSSETTI, A. I. N.; PELLEGRINO, P. R. M.; TAVARES, A. R. As árvores e suas interfaces no ambiente urbano. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba, v.5, n.1, p 1-24, 2010.

ROSSIELLO, R.O.P. e 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.

RYAN, P.R.; DITOMASO, J.M.; KOCHIAN, L.V. Aluminum toxicity in roots: an investigation of spatial sensitivity and the role of the root cap. **Journal Experimental Botany**, London, v. 44, n. 259, p. 437-446, 1993.

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.

SEITZ, R. A. Considerações sobre a poda de árvores na arborização urbana. In: Encontro nacional sobre arborização urbana, 3., Curitiba, 1990. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1990. p.87-100

SILVA, G. M. C.; SILVA, H.; CAVALCANTI, M. L. F.; MARTINS, P. L. Autecologia *Bauhinia forficata* L. – Espécie ameaçada de extinção no ecossistema da Caatinga. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. Campina Grande, v.3, n.2, 2008.

SILVA, L. M. Reflexões sobre a arborização urbana. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**. Piracicaba, v.3, n.3, p 65-71, 2008.

SILVA, S. Aluminium toxicity targets in plants. **Journal of Botany**, v.2012, 2012, 8p.

SIMONOVICOVA, M.; HUTTOVA, J.; MISTRİK, I.; SIROKA, B.; TAMAS, L. Root growth inhibition by aluminum is probably caused by cell death due to peroxidase-mediated hydrogen peroxide production. **Protoplasma**, v. 224, p. 91-98, 2004.

SIVAGURU, M.; BALUSKA, F.; VULKMANN, D.; FELLE, H.H.; HORST, W.J. Impacts of aluminum on the cytoskeleton of maize root apex: short-term effects on the distal part of the transition zone. **Plant Physiology**, Rockville, v. 119, n. 3, p. 1073-1082, 1999.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia Vegetal*. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 500 p.

TKAHASHI, L. Y. Arborização de cidades. *Anais II Encontro de arborização urbana*, p89-93, Maringá. 1987.

ULRICH, B.; MAYER, R.; KHANNA, P.K. Chemical changes due to acid precipitation in a loess-derived soil in Central Europe. *Soil Sci.* 130, 1993–1999, 1980.

VALE, F. R.; FURTINI NETO, A.E.; RENÓ, N.B.; FERNANDES, L. A.; RESENDE, A. V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.9, p.609-616, set. 1996.

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.; ROSSIELLO, 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, p.357-363, 2002.

VAZ, A. M. S.F., TOZZI, A.M. Sinopse de *Bauhinia* sect. *Pauletia* (Cav.) DC. (Leguminosae: Caesalpinioideae: Cercideae) no Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**. v.28, n.3, p 447-491, 2005.

VAZ, A.M.S.F. & Tozzi, A.M.G.A. 2003. *Bauhinia* ser. *Cansenia* (Leguminosae: Caesalpinioideae) no Brasil. **Rodriguésia** 54: 55-143.

VELASCO, G. D. N. **Arborização viária x sistemas de distribuição de energia elétrica: avaliação dos custos, estudo das podas e levantamento de problemas fitotécnicos**. 2003. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 94 f. Piracicaba, 2003.

VELOSO, C.A.C. et al . Efeitos do alumínio em pimenteiras do reino (*Piper nigrum*, L.) cultivadas em solução nutritiva. **Sci. agric. (Piracicaba, Braz.)**, Piracicaba , v. 52, n. 2, Aug. 1995 .

WATANABE, T. e OSAKI, M. “Mechanisms of Adaptation to High Aluminum Condition in Native Plant Species Growing in Acid Soils: A Review,” *Communications in Soil Sciences and Plant Analysis*, v. 33, n. 7-8, p.1247-1260, 2002.

YAMAMOTO, Y.; KOBAYASHI, Y.; DEVI, S.R.; RIKIISHI, S.; MATSUMOTO, H. Aluminum toxicity is associated with mitochondrial dysfunction and the production of reactive oxygen species in plant cells. *Plant Physiology*, v.128, p.63-72, 2002.