

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

**DISSERTAÇÃO**

**RESPOSTAS DE PLÂNTULAS DE ANGICO *Anadenanthera macrocarpa*  
(Benth.) Brenan AO ALUMÍNIO E A CALAGEM.**

**THAMARA PEIXOTO MENDONÇA**

**2016**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA**

**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**RESPOSTAS DE PLÂNTULAS DE ANGICO *Anadenanthera macrocarpa*  
(Benth.) Brenan AO ALUMÍNIO E A CALAGEM.**

**THAMARA PEIXOTO MENDONÇA**

*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 Produção Vegetal.

Seropédica, RJ  
Outubro de 2016

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M537 r Mendonça, Tamara Peixoto, 1980-  
RESPOSTAS DE PLÂNTULAS DE ANGICO *Anadenanthera*  
macrocarpa (Benth.) Brenan AO ALUMÍNIO E A CALAGEM. /  
Tamara Peixoto Mendonça. - 2016.  
58 f.: il.

Orientador: Jorge Jacob Neto.  
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural  
do Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2016.

1. Efeito do Alumínio. 2. Espécie Arbórea. I. Jacob  
Neto, Jorge, 1955-, orient. II Universidade Federal  
Rural do Rio de Janeiro. Fitotecnia III. Título.

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

**THAMARA PEIXOTO MENDONÇA**

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 13/10/2016

---

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

---

Vera Lúcia Divan Baldani. (Dra.) EMBRAPA-AGROBIOLOGIA

---

Silvia Regina Goi. (Ph.D.) UFRRJ

## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais Natanael e Vera; aos meus irmãos Marcel e Sara; a minha cunhada Giselle e ao meu sol João Gabriel. Meus maiores incentivadores

## AGRADECIMENTOS

A Deus, em todas as suas formas, agradeço pela vida.

A todos os professores e funcionários do curso de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ.

A CAPES pela bolsa concedida.

Ao professor Jorge Jacob Neto pela dedicação, apoio, incentivo, ensinamento e confiança, agradeço pela grande ajuda e incentivo para tornar este trabalho possível.

A Elania pela ajuda e informações compartilhadas.

A toda equipe do Laboratório de Química da Rizosfera pelo carinho e apoio, não só intelectual, mas também emocional. Pela amizade que deixou tudo muito mais feliz: Joice Lemos, Marcão, Juçaria Souza, Nathália Bugni, Nubia Mezzavilla e Alessandra Machado.

Aos amigos Alessandra Machado Karla Campos, Carlos Vergara, Hercides Junior, Bianca Zaroni, Thiago Gama, Carolina Peçanha, Jaqueline Macedo, Theylla, Henrique Guimarães, Diogo Joffily, Lúcia Maciel pelo carinho e companheirismo.

A Diogo Menezes por todo o apoio, incentivo e carinho, por sempre ter acreditado em mim.

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

Em especial a minha família: pais Natanael e Vera que me ensinaram tudo de mais importante na vida, irmãos Marcel e Sara e minha cunhada Giselle. Agradeço todo o amor, torcida, incentivo e compreensão.

“A mente que se abre a uma nova ideia, jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

## RESUMO

**MENDONÇA, Thamara Peixoto, RESPOSTAS DE PLÂNTULAS DE ANGICO *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan AO ALUMÍNIO E A CALAGEM.** 2016. X p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

As espécies florestais são importantes para sociedade, não só por ser fonte de matéria prima, mas também pelo seu papel na amenização do efeito estufa e conforto térmico urbano. Comparando com espécies de maior valor econômico, as informações sobre o efeito fitotóxico do alumínio (Al) nestas plantas são ainda escassas. O alumínio (Al) é o principal fator limitante para o desenvolvimento vegetal em solos ácidos. A forma trivalente ( $Al^{3+}$ ) deste metal é considerada a mais tóxica, podendo causar severos danos ao sistema radicular e alterações no metabolismo vegetal. O angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), é uma espécie de importância econômica, possui uma madeira de alta durabilidade sendo muito utilizada no setor civil e naval, por ser uma espécie de rápido crescimento é amplamente utilizada em plantios de restauração florestal. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do alumínio no crescimento inicial e comportamento de plântulas na presença deste elemento. Foram instalados experimentos em diferentes condições de crescimento: solução nutritiva simples com 0,1 mM de Al, solução nutritiva completa e em solo Latossolo Vermelho Amarelo usando calcário dolomítico, em condições de câmara de crescimento. Também foi realizado em condições de câmara de crescimento (BOD), um experimento para testar o efeito de diferentes concentrações de alumínio na germinação, % plântulas anormais e taxa de mortalidade. O tempo de permanência no substrato de germinação areia, influenciou a resposta da plântula ao alumínio. A adição de doses de alumínio acima de 100  $\mu$ M, diminuiu o comprimento radicular e a alongação radicular relativa, mas afetou pouco a taxa de crescimento radicular. A calagem não influenciou o desenvolvimento das plântulas, mas a adubação com 50 Kg/ha de N + 100 Kg/ha  $P_2O_5$  + 60 Kg/ha  $K_2O$  + 30 Kg/ha Kg FTE 12, influenciou. A adição de alumínio em papel germitest não influenciou a germinação, % plântulas anormais e a mortalidade de semente. A adição de alumínio no papel germitest aumentou o comprimento radicular da plântula.

**Palavras chave:** Toxicidade, comprimento radicular, germinação.



## ABSTRACT

**MENDONÇA, Thamara Peixoto.** SEEDLING GROWTH OF *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan IN ALUMINUM AND LIME 2016. X p. Dissertation (Master in Plant Science). Institute of Agronomy, Crop Science Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

Forest species are important to society, not only because they are a source of material, but also because of their role in mitigating the greenhouse effect and urban thermal comfort. Comparing with species of higher economic value, information on the phytotoxic effect of aluminum (Al) in these plants is still scarce. Aluminum (Al) is the main limiting factor for plant development in acid soils. The trivalent form (Al<sup>3+</sup>) of this metal is considered the most toxic, causing severe damage to the root system and changes in plant metabolism. The red angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), is a species of economic importance, has a high durability wood being widely used in the civil and naval sector, being a species of rapid growth is widely used in forest restoration plantations. Thus, the objective of this study was to evaluate the effect of aluminum on initial growth and seedling behavior in the presence of this element. Experiments were carried out under different growth conditions: simple nutrient solution with 0.1 mM Al, complete nutrient solution and in soil Red Yellow Latosol using dolomitic limestone under growth chamber conditions. It was also performed under growth chamber conditions (BOD), an experiment to test the effect of different concentrations of aluminum on germination, % abnormal seedlings and mortality rate. The residence time in the substrate of sand germination influenced the response of the seedling to aluminum. The addition of aluminum in level above 100 µM decreased root length and relative root elongation, but did little to affect root growth rate. The liming did not influence the development of the seedlings, but the fertilization with 50 kg / ha of N + 100 kg / ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 60 kg / ha K<sub>2</sub>O + 30 kg / ha Kg FTE 12, influenced. The addition of aluminum in germitest paper did not influence germination, % abnormal seedlings and seed mortality. The addition of aluminum in the germitest paper increased the root length of the seedling.

**Keywords:** Toxicity, root length , germination

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Porcentagem de germinação (%G) aos 3 dias e aos 10 dias após semeadura e porcentagem de plântulas anormais aos 10 dias após semeadura de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth) Brenan germinadas em papel germitest com diferentes concentrações de Al.....	11
<b>Tabela 2:</b> Média de comprimento radicular, comprimento de parte aérea e diâmetro do colo de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> ) aos 10 dias após plantio germinadas em papel germitest com diferentes concentrações de Al.....	11
<b>Tabela 3:</b> Análise de Variância do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth) Brenan crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.....	13
<b>Tabela 4:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de <i>A. macrocarpa</i> , crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 11 dias.....	15
<b>Tabela 5:</b> Resumo da análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth) Brenan crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.....	16
<b>Tabela 6:</b> Análise de variância do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em solução nutritiva simples com 17 diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.....	17
<b>Tabela 7:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.....	19
<b>Tabela 8:</b> Análise de regressão das taxas de crescimento radicular de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan aos 10 dias crescidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.....	20
<b>Tabela 9:</b> Análise de Variância do crescimento radicular de plântulas de Angico ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.....	21
<b>Tabela 10:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 18 dias.....	34
<b>Tabela 11</b> Resumo da Análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 18 dias.....	25

<b>Tabela 12:</b> Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV % = 18,78 aos 18 dias.....	26
<b>Tabela 13:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada no décimo oitavo dia.....	28
<b>Tabela 14:</b> Resumo da Análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada no décimo oitavo dia.....	30
<b>Tabela 15.</b> Efeito do calcário na massa seca de raiz, comprimento da raiz e comprimento da parte aérea de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em Argissolo Vermelho Amarelo.....	32
<b>Tabela 16:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento de parte aérea de plântulas de Angico vermelho <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em Argissolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.....	32
<b>Tabela 17:</b> Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em Argissolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.....	33
<b>Tabela 18.</b> Resumo da Análise de regressão da massa da raiz seca de plântulas de Angico vermelho <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em Argissolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.....	33

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1:** Análise de regressão do comprimento radicular de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a diferentes concentrações de Al aos 10 dias após início do teste \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,24.....12
- Figura 2:** Análise de regressão do comprimento de parte aérea de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a diferentes concentrações de Al aos 10 dias após início do teste \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,50.....12
- Figura 3:** Análise de regressão do diâmetro do colo de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) no décimo dia, após terem sido submetidas a diferentes concentrações de Al por 10 dias\*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 5,26.....13
- Figura 4:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) no décimo primeiro dia após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. CV % = 8,66.....14
- Figura 5:** Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), ao longo de 11 dias crescidas em solução simples e em diferentes concentrações de alumínio.....14
- Figura 6:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 11 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.....15
- Figura 7:** Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas por 11 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5%. CV % = 67,86.....16
- Figura 8.** Raízes de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 11 dias de cultivo. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D -200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio.....17
- Figura 9:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) 10 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV%= 12,68.....18
- Figura 10:** Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) ao longo de 10 dias em solução simples.....18
- Figura 11:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 10 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de.....19

<b>Figura 12:</b> Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) crescidas por 10 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5%. CV % = 67,86.....	20
<b>Figura 13:</b> Raízes de plântulas de angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 10 dias de cultivo. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D -200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio. ....	21
<b>Figura 14:</b> Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV % = 19,61.....	22
<b>Figura 15:</b> Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias crescidas em solução simples em diferentes concentrações de alumínio. ....	22
<b>Figura 16:</b> Comprimento radicular de Angico vermelho <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) submetidas a diferentes concentrações de Al, em solução nutritiva simples. No décimo oitavo dia.....	23
<b>Figura 17:</b> Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) após 18 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. ....	24
<b>Figura 18:</b> Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas por 18 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. ....	24
<b>Figura 19:</b> Taxa de crescimento de raízes de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) submetida a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Com 18 dias de cultivo.....	25
<b>Figura 20:</b> Raízes de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D - 200 µM, E – 400 µM, F 800 µM e G 1600 µM de alumínio.....	26
<b>Figura 21:</b> Comprimento das plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio ao longo de 18 dias de cultivo. ....	27
<b>Figura 22:</b> Comprimento das plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio ao longo de 19 dias de cultivo. ....	27
<b>Figura 23:</b> Comprimento radicular de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) no décimo oitavo dia submetidas a diferentes concentrações de Al, em solução nutritiva completa.....	28
<b>Figura 24:</b> Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) após 18 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.....	29

<b>Figura 25:</b> Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas por 18 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio. ....	29
<b>Figura 26:</b> Raízes de plântulas de Angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D - 200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio.....	30
<b>Figura 27:</b> Raízes de plântulas de angico vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa coradas com hematoxilina (A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D - 200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio) .....	31
<b>Figura 28:</b> Plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan crescidas em Latossolo vermelho amarelo 29 dias após semeadura, 1000 Kg ha <sup>-1</sup> de calcário.....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	2
2.1 Descrição da espécie <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan.....	2
2.2 Alumínio.....	2
2.2.1 Mecanismos de tolerância ao alumínio .....	3
2.2.2 Al x Morfologia da planta .....	4
2.2.3 Al x Espécies usadas na Arborização Urbana .....	5
2.2.4 Solução nutritiva x Estudos da toxidez do alumínio .....	5
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	6
3.1 Descrição dos experimentos em solução nutritiva .....	6
3.2 Experimentos realizados.....	7
3.2.1 Experimento 1 – Germinação de sementes de Angico em diferentes concentrações de Alumínio.....	7
3.2.2 Experimento 2 - Crescimento em solução nutritiva simples (baixa força iônica) por 18 dias, após 11 dias da sementeira .....	8
3.2.3 Experimento 3 - Crescimento em solução nutritiva simples por 10 dias - 5 dias após sementeira .....	8
3.2.4 Experimento 4 - Crescimento em solução nutritiva simples por 18 dias - 5 dias após sementeira .....	4
3.2.5 Experimento 5 - Crescimento em solução nutritiva completa por 18 dias na solução, após quatro dias da sementeira .....	9
3.2.6 Experimento 6 - Crescimento de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) Brenan em solo ácido, com diferentes doses de calcário .....	9
<b>4 RESULTADOS</b> .....	10
4.1 Experimento 1 – Germinação de sementes de Angico em diferentes concentrações de alumínio.....	10
4.2 Experimento 2 - Crescimento em solução nutritiva simples por 10 dias – 11 dias após sementeira .....	13
4.3 Experimento 3 - Crescimento de plântulas de Angico vermelho em solução nutritiva simples por 10 dias - 5 dias após sementeira .....	17
4.4 Experimento 4 - Crescimento em solução nutritiva simples por 18 dias - 5 dias após sementeira .....	21
4.5 Experimento 5 - Crescimento em solução nutritiva completa.....	26
4.6 Experimento 6 – Crescimento de plântulas de <i>Anadenanthera macrocarpa</i> (Benth.) em um solo Latossolo Vermelho Amarelo .....	31
<b>5 DISCUSSÃO</b> .....	33
5.1 Al x Germinação.....	33
5.2 Al x Solução Nutritiva x Plantas .....	34
5.3 Al x Solo x Calagem.....	36
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	37
<b>7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA</b> .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda de tecnologia para exploração do potencial de espécies florestais nativas exige informações sobre a silvicultura de espécies autóctones nos diversos campos do conhecimento e, dentre eles, o da nutrição mineral. Em função da grande variabilidade genética observada nas florestas, e diante da heterogeneidade dos solos das regiões tropicais, são ainda escassos os dados disponíveis sobre o comportamento destas espécies florestais nativas no que diz respeito aos requerimentos nutricionais e a sua capacidade de adaptação a condições ambientais distintas (FURTINE NETO et al, 1999a).

A utilização de espécies florestais nativas para múltiplos usos, tais como, produção de madeira, enriquecimento de matas, recuperação ambiental de áreas degradadas e arborização urbana é dificultado pela carência de informações sobre as exigências nutricionais dessas espécies para produção de mudas e para estabelecimento e desenvolvimento das plantas no campo (GONÇALVES et al, 2012).

Para o sucesso da exploração e manutenção em termos ambientais e econômicos, tal quais as espécies agrícolas, as espécies florestais necessitam de práticas agrícolas corretivas e de nutrição específicas (SORREANO et al., 2012).

Neste contexto, um dos fatores mais importantes que limitam o crescimento e a produção das plantas é a toxidez causada pelo alumínio em solos ácidos, principalmente em pH abaixo de 5 (BEUTLER et al, 2001). O Alumínio (Al) é o terceiro elemento mais abundante da litosfera, ficando atrás somente do oxigênio e do silício, sendo o metal mais abundante da crosta terrestre, estando presente na vida de todos os organismos. (ROSSIELLO & JACOB NETO, 2006; CAI et al., 2011). A toxidez pelo alumínio é causada quando os valores de pH são iguais ou inferiores a 5,0, onde a forma trivalente  $Al^{+3}$ , que é considerada a mais tóxica, torna-se solúvel podendo causar nas plantas inibição do crescimento e alterações negativas no metabolismo (SILVA, 2012).

São conhecidos vários sintomas que estão relacionados aos efeitos desse elemento em espécies vegetais, como a inibição do alongamento radicular e efeitos a nível estrutural e ultra estrutural, como por exemplo, a inibição da replicação celular (GREVENSTUK & ROMANO, 2013). O  $Al^{+3}$  influencia negativamente no diâmetro dos ápices radiculares, comprimento, largura, área e perímetro das células do meristema apical e parênquima cortical, além de estimular a lignificação dos tecidos, afeta processos de divisão celular e consequentemente o crescimento das raízes e absorção de nutrientes (VASCONCELOS FILHO, 2014).

A espécie utilizada neste trabalho é a *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, popularmente conhecida como angico vermelho, que pertence à família Fabacea. É uma espécie amplamente distribuída pelos diversos biomas brasileiros. Apresenta crescimento rápido e é tolerante a solos arenosos e rasos e é muito usada para recomposição de matas, construção civil e naval, paisagismo e na indústria madeireira (CARVALHO, 1994; LORENZI, 2002).

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do alumínio sobre a germinação, e crescimento e desenvolvimento inicial da espécie Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescendo em solução nutritiva de diferentes forças iônicas e em solo ácido.



## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Descrição da espécie *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan

*Anadenanthera macrocarpa* é uma espécie de angico pertencente à família Fabaceae, do gênero *Anadenanthera*, também conhecida como angico vermelho, angico preto, angico do campo, arapiraca e curupai, sinonímia botânica *Piptadenia macrocarpa* Benth (LORENZI, 2002). De acordo com a classificação de Brenan (1955), o gênero *Anadenanthera* é representado por quatro espécies distintas: *A. colubrina* (Vell.) Brenan, *A. macrocarpa* (Benth.) Brenan, *A. peregrina* (L.) Speg. e *A. falcata* (Benth.) Speg. Altschul (1964), considera o gênero *Anadenanthera* composto apenas por duas espécies com duas variedades cada, sendo elas: *A. colubrina* (Vell.) Brenan var. *colubrina*, *A. colubrina* var. *cebil* (Griseb.) Altschul, *A. peregrina* (L.) Speg. var. *peregrina* e *A. peregrina*. var. *falcata* (Benth.) Altschul (SILVEIRA, 2014).

*A. macrocarpa* possui ampla abrangência geográfica, ocorrendo desde o sul da Bolívia até o norte da Argentina (CARVALHO, 1994). No Brasil está presente na Mata Atlântica, caatinga e cerrado (MORIM, 2015). É uma espécie comprovadamente calcícola, de crescimento rápido e tolerante a solos arenosos e rasos e muito usada para recomposição de matas ciliares (CARVALHO, 1994).

É uma espécie arbórea e sua altura varia de 13 a 20 m, com tronco rugoso, com fissuras pretas podendo apresentar acúleos. As suas folhas são compostas, bipinadas, de 10-25 julgas, com folíolos rígidos, com 20-80 julgos (LORENZI, 2002), hermafrodita com fecundação cruzada (SILVEIRA, 2014). Ela floresce de setembro-novembro, os frutos amadurecem de agosto a setembro, e produzem um grande número de sementes viáveis, sendo que 1 kg de sementes contém aproximadamente 7.600 sementes. Aos vetores de polinização são principalmente abelhas e pequenos insetos. O fruto é deiscente por meio de uma fenda única, e apresentam grande variação no número de sementes por fruto. A dispersão é autocórica, principalmente barocórica (LORENZI, 2002). O eixo embrionário ocupa parte da região central da semente de angico-preto, com posição axial e linear próximo à micrópila. As sementes de angico-preto são exalbuminosas, a germinação das sementes é do tipo epígea e as plântulas fanerocotiledonares (OLIVEIRA et al, 2012).

É uma espécie de rápido crescimento, decídua, heliófita, pioneira ou secundária inicial, de crescimento rápido. É bastante utilizada no paisagismo, pois, floresce exuberantemente todos os anos e as flores exalam agradável perfume, o que a torna uma espécie ornamental (SILVA & BARBOSA, 2000). De acordo com a utilização no setor civil e naval, esta espécie possui madeira de excelente qualidade e alta durabilidade (densidade 1,05 g/cm<sup>3</sup>). No semiárido do nordeste esta espécie tem uma elevada importância econômica, além da extração do tanino, uso na medicina popular, fabricação de móveis, ornamentação e carvão (SILVA & BARBOSA, 2000). Por ser uma espécie de rápido crescimento, torna-se interessante para ser aproveitada em reflorestamentos em áreas degradadas, bem como para a produção de lenha e carvão de alta qualidade e para arborização urbana. A casca é rica em tanino, sendo usada em curtumes (LORENZI, 2002).

### 2.2. Alumínio

O Alumínio (Al) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, é o terceiro elemento em maior quantidade na litosfera, após o oxigênio e o silício, participando com 8 % na composição da crosta terrestre (ROSSIELLO & JACOB-NETO, 2006). Para estes autores na fase sólida do solo, o Al ocorre na forma de minerais primários ou secundários, como aluminossilicatos, oxi-hidróxidos, sulfatos e fosfatos.

A toxidez por alumínio é um importante fator limitante para o crescimento de plantas em solos ácidos com concentrações de pH abaixo de 5,5 (FOY, 78). Segundo Mossor-Pietraszewska (2001) em pH menores que 5,5, a dissolução das formas sólidas do Al tende a aumentar, ocorrendo a liberação de formas iônicas na solução do solo. Além da acidez do solo, outros fatores influenciam a solubilidade do alumínio no solo tais como tipo de argila predominante, concentração de sais na solução e teor de matéria orgânica no solo (FOY, 1974).

Muitas plantas, especialmente as cultivadas, são sensíveis a uma pequena concentração de  $Al^{3+}$  na solução do solo. Essa sensibilidade resulta em fitotoxicidade, sendo assim, este elemento é considerado um elemento tóxico (HARIDASAN, 2008). O alumínio trocável, em níveis tóxicos, causa anomalias e danos ao sistema radicular, resultando na exploração de menos volume de solo pelas plantas, prejudicando a absorção de nutrientes comprometendo o crescimento da parte aérea (BEUTLER et al 2001). Segundo Jacob-Neto (1993) as plantas ao serem afetadas pelo cátion tóxico apresentam, com frequência, sintomas de déficit nutricional (fósforo, potássio, cálcio e magnésio), uma vez que o Al interfere no processo de absorção, translocação e transporte de nutrientes.

### 2.2.1. Mecanismos de tolerância ao alumínio

Os mecanismos de tolerância ao  $Al^{3+}$  estão divididos em dois grupos sendo formado pelos mecanismos de exclusão, onde estão incluídos mecanismos de exsudação nas raízes de ligantes orgânicos que complexam o  $Al^{3+}$ , efluxo do  $Al^{3+}$  acumulado e alteração no pH da rizosfera (JACOB-NETO, 1993; DEGENHARDT et al, 1998). O outro grupo é formado pelos mecanismos de desintoxicação interna, onde está incluída a fixação do  $Al^{3+}$  na parede celular, a complexação no simplasto via ligantes orgânicos e o sequestro no vacúolo (BARCELÓ & POSCHENRIEDER, 2002; KOCHIAN et al., 2004).

A maior parte das pesquisas está focada na exclusão do Al pela exsudação de ácidos orgânicos ativados pela presença do Al no ápice radicular (CAMPOS et al, 2003). Porém evidências vem sendo acumuladas num mecanismo de tolerância baseada na desintoxicação interna, onde o Al seria complexado pelos ácidos orgânicos nas vias simplásticas (HARTIWIG et al, 2007). Neste mecanismo, a planta é capaz de crescer e se desenvolver mesmo após a entrada de Al no simplasma das células, porém sua toxicidade é neutralizada por enzimas ou ainda, isoladas no interior do vacúolo aonde ocorre a complexação. Além destes, outros mecanismos bioquímicos tem sido propostos, conferindo as plantas condições de inativar ou armazenar o Al nas folhas em formas não tóxicas (MARIANO, et al, 2005). Nos mecanismos de desintoxicação interna estão incluídas a fixação do  $Al^{3+}$  na parede celular, a complexação no simplasto via ligantes orgânicos e o sequestro no vacúolo (KOCHIAN et al., 2004). A exsudação de ácidos orgânicos na região do ápice das raízes tem sido apontada como um provável mecanismo de tolerância ao alumínio em plantas. Ma et al (2001) afirmam que ácidos orgânicos são capazes de formar moléculas estáveis com  $Al^{3+}$  diminuindo a sua fitotoxicidade. Os ácidos orgânicos exsudados pelas raízes mais comuns são malato, citrato, oxalato, tartarico e succinato (HARTIWIG et al, 2007; TECHIO, 2009). Existe uma especificidade do ácido orgânico liberado por cada espécie vegetal, milho, citrato (PELLET et al. 1995; KORN et al. 1997; PIÑEROS et al. 2002); em centeio, citrato e malato (LI et al., 2000); em aveia, citrato e malato (ZHENG et al., 1998); em cevada, citrato (ZHAO et al., 2003); em soja, citrato (YANG et al. 2000). Os ácidos orgânicos liberados a partir do ápice radicular se ligam ao  $Al^{3+}$  convertendo-se assim a um complexo não tóxico e evitando a absorção do metal pela raiz (HARTIWIG et al., 2007). Estes compostos estão associados também a fitodisponibilidade de fósforo (P). Na presença do Al, o P pode ser complexado (Al-P) os ácidos orgânicos dissociam esses complexos liberando P para solução do solo

(HARTIWIG, 2007). Cassol (2012) verificou que a exposição de *Stylosanthes* sp, uma espécie nativa do cerrado, ao Al em solução nutritiva resultou em aumento na exsudação de ácido cítrico.

Dentre os ácidos orgânicos exsudados pelas raízes na presença do Al o mais comum é o citrato sendo também o mais efetivo entre os ácidos orgânicos por seu um âniostricarboxilado consegue formar quelatos com  $Al^{+3}$  muito mais estáveis em comparação com os quelatos formados pelo malato sendo este um ânion dicarboxilado. Porém ainda não está claro como as espécies controlam essa especificidade do ácido orgânico liberado na presença do Al (HARTIWIG, 2007).

Na maioria dos solos cultivados a concentração de ácido orgânico, é inferior a  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ . A decomposição da matéria orgânica é a principal fonte desses compostos no solo, mas a lavagem dos resíduos vegetais e a produção de exsudatos radiculares e microbianos, também, são importantes fontes (GUPPY et al., 2005). Ácidos orgânicos são substâncias de baixo peso molecular, são produzidos, principalmente, na mitocôndria, através do ciclo dos ácidos tricarbóxicos (ciclo de Krebs) e, em menor quantidade, no glioxissomo. Devido à natureza catalítica do ciclo de Krebs, os ácidos orgânicos estão presentes em pequenas porções na mitocôndria e, preferencialmente, são armazenados no vacúolo. Estes tipos de ácidos são produtos secundários do metabolismo de compostos de alto peso molecular, como carboidratos, lipídeos e peptídeos (LOPEZ-BÚCIO et al., 2000). Esses compostos quelatam o alumínio impedindo sua absorção e evitam a interação com compostos celulares ou a penetração no simplasto (MARIANO et al, 2005; ROSSIELO E JACOB-NETO, 2006).

São reconhecidos dois padrões de exsudação de ácidos orgânicos: o Padrão I e/ou o Padrão II (MA, 1998, TECHIO, 2009 ). No Padrão I as plantas se caracterizam por apresentar resposta quase imediata de liberação de ácidos orgânicos pelas raízes quando são expostas ao Al. No Padrão II existe uma fase “lag” entre a exposição ao Al e a liberação dos ácidos orgânicos. Diferentes mecanismos parecem controlar o Padrão de secreção dos ácidos orgânicos (CASSOL, 2012)

### **2.2.2. Al x Morfologia das plantas**

As raízes lesionadas pela presença de alumínio no solo são geralmente grossas e quebradiças, o ápice radicular se torna mais espesso e adquire um tom marrom escuro (FOY, 1978, LEMOS et al., 2015). Na parte aérea os sintomas são associados com deficiência de fósforo e com reduzida absorção e translocação de cálcio (FOY, 1974). Nanismo, folhas verdes escuras e pequenas, amarelamento e morte das pontas das folhas estão associados a deficiência de fósforo; já ondulação ou laminação das folhas jovens e colapso dos pontos de crescimento estão associados a deficiência no transporte de cálcio (FOY, 1974). A presença de Al em níveis tóxicos pode limitar o crescimento e desenvolvimento do sistema radicular das plantas, tornando-as menos tolerantes às condições de déficit hídrico (BRACCINI et al, 2000). São conhecidos vários sintomas que são relacionamos aos efeitos desse elemento em espécies sensíveis, como a inibição do alongamento radicular e efeitos a nível estrutural e ultra estrutural, como por exemplo, a inibição da replicação celular (GREVENSTUK & ROMANO, 2013, VASCONCELOS FILHO 2014), provavelmente como resultado da indução de distúrbios na divisão celular no meristema apical das raízes (TAYLOR, 1988).

Os efeitos mais comuns da toxicidade de Al ocorrem no sistema radicular, sendo a parte das plantas mais afetada pelo excesso desse íon, em poucas horas (0,5–2 h) ou em poucos dias a toxicidade do Al é manifestada. Geralmente o efeito tóxico do alumínio provoca severas mudanças da morfologia da raiz, sendo observada inibição do alongamento radicular, resultando em raízes mais curtas com os ápices mais grossos, com poucos ou nenhum pelo radicular (KOCHIAN, 1995; ROSSIELLO e JACOB NETO, 2006 GUPTA et al., 2013;

LEMOS et al., 2015). Sendo assim, a avaliação do crescimento radicular tem sido amplamente utilizada como indicadora de tolerância ao íon Al, principalmente em experimentos de seleção de genótipos em solução nutritiva (TECHIO, 2009). Recentemente os pesquisadores estão dando uma maior atenção a espécies de plantas que apresentam a capacidade de acumular Al em seus tecidos como meio de desintoxicação interna do Al (HARTIWIG et al, 2007). Ryan e Delhaize (2010) afirmam que este mecanismo de tolerância é encontrado principalmente em espécies endêmicas de regiões com solos ácidos, onde a capacidade de lidar com a toxicidade ao Al é pré-requisito para sua sobrevivência. Segundo Haridasan (2008) são conhecidas 45 famílias que apresentam espécies capazes de armazenar Al, sendo 32% das espécies acumuladoras pertencentes às família Rubiaceae, outras famílias com espécies acumuladoras são: Anisophyllaceae, Celastraceae, Cornaceae, Diapensaceae, Geissolomataceae, Grossulariaceae, Melastomataceae, Pentaphragaceae, Polygalaceae, Proteaceae, Symplocaceae, Theaceae e Vochysiaceae, famílias que pertencem a diferentes grupos de eudicotiledôneas.

Um exemplo muito comum de plantas acumuladoras é a Hortência, uma planta ornamental que torna suas pétalas do vermelho ao azul quando o solo é acidificado. A alteração de sua cor é dada pela acumulação de complexos de alumínio nas pétalas. Esta espécie pode acumular até 3000 mg L<sup>-1</sup> de Al em suas folhas e pétalas, complexadas por citrato. No citosol a pH 7,0 este é um complexo extremamente forte impossibilitando ao Al causar injúrias no citosol (MA et al, 1997).

### **2.2.3. Al x Espécies usadas na Arborização Urbana.**

Pesquisas recentes demonstram o efeito tóxico do Al em espécies de plantas que são usualmente utilizadas na arborização urbana. POLESE (2013) em estudo com *Delonix regia*, relatou que para esta espécie arbórea, a dose de Al que paralisaria o crescimento radicular foi de 75 µM, em solução nutritiva. VASCONCELOS FILHO (2014), em estudo realizado com *Anacardium othonianum* Rizz indicou que, em solução nutritiva simples, há queda do crescimento radicular, sendo a concentração de 1200 µM de Al a que causou mais toxidez. Este íon afetou também o crescimento das raízes de *Bauhinia variegata* em em solução nutritiva a partir da concentração de 50 µM (MACHADO, 2015). Lemos et al. (2015) encontrou efeito de alumínio para as espécies, sombreiro (*Clitoria fairchildiana* H.), sabiá (*Mimosa caesalpinifolia* B.) e acácia (*Acacia mangium* W.) apresentando sintomas de toxidez nas maiores concentrações aplicadas.

Tolerância é uma característica específica que confere vantagem a um genótipo na presença do estresse podendo atuar em diversos níveis: celular, de tecidos, de planta e de interação planta com solo (COELHO, 2011). Para Fleming e Foy (1978), a tolerância das plantas ao alumínio está ligada à capacidade de continuidade da divisão celular e alongação radicular, reduzindo a concentração de Al disponível e a possibilidade de manter áreas meristemáticas viáveis para formação de novos tecidos. Delhaize et al, (2007) citam que plantas tolerantes são aquelas que apresentam mecanismos de desintoxicação ou sequestram o Al internamente

### **2.2.4. Solução nutritiva x Estudos da toxidez do alumínio**

Desde que Hogland (1950) revisaram a solução nutritiva de Hogland (1938), que os estudos de solução nutritiva ajudaram ao homem entender o comportamento nutricional das plantas. Desde então foi possível estudar com mais facilidade os efeitos fitotóxico do alumínio em planta. Isso ficou mais evidenciado após os estudos de Spehar, (1989) e Garland-Campbell & Carter Junior (1990) que constataram correspondências entre os resultados

obtidos em solução nutritiva e os testes de campo em culturas agrícolas. Devido a relevância do angico para o sistema agroflorestal brasileiro é necessário aumentar o conhecimento desta espécie crescendo em condições de acidez. O presente trabalho é uma continuação dos estudos realizados no Laboratório de Química da Rizosfera do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, sobre toxidez de alumínio em espécies arbóreas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

As sementes de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* – Fabaceae) utilizadas nos experimentos foram provenientes de uma única planta matriz localizada no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (43° 41' O, 22° 46' S), município de Seropédica, RJ. Foram coletadas com auxílio de podão. Em seguida, foram encaminhadas ao laboratório de Química da Rizosfera, onde foram expostas ao sol para completar a abertura das vagens e liberação das sementes. Realizou-se uma pré-seleção e limpeza das impurezas e, posteriormente, as sementes foram armazenadas em geladeira.

Os experimentos 2, 3, 4, 5, e 6 foram conduzidos na câmara de crescimento do Laboratório de Química da Rizosfera localizado no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade Federal do Rio de Janeiro. A câmara de crescimento foi mantida a temperaturas entre 25 e 35°C com fotoperíodo de 12h luz/12h escuro. O experimento 1 foi conduzido no laboratório de sementes localizado no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

As doses de Al utilizadas foram planejadas para serem adicionadas em progressão geométrica.

#### 3.1. Descrição dos experimentos em solução nutritiva

As sementes foram selecionadas e submersas em solução de hipoclorito de sódio a 6% por 5 minutos para desinfecção. A semeadura ocorreu em vasos de 700 ml, usando como substrato areia lavada, a irrigação foi realizada diariamente de forma manual com água deionizada. Após o período de germinação as plântulas foram transferidas para vasos de 700 mL contendo solução nutritiva sendo fixadas em isopor. Foi realizada uma seleção quanto à uniformidade de tamanho e vigor das plântulas. Antes da imersão da raiz na solução foram medidos o comprimento da raiz principal e parte aérea com auxílio de régua graduada. A solução foi trocada a cada 72 horas tendo, aeração constante.

Os experimentos 2, 3, 4 e 5 foram realizados sem solução nutritiva. A solução nutritiva simples foi preparada segundo a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), composta por 1mM de Ca. L<sup>-1</sup> na forma de CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O e alumínio na forma na forma de AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O. O experimento 5, em solução nutritiva completa, também utilizou a metodologia proposta por Jacob Neto (1993), sendo composta por 1mM de Ca. L<sup>-1</sup> (CaCl<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O); 6 concentrações de Al (0, 50, 100, 200, 400 e 800 µM de Al) na forma de AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O; 0,5 mM de N (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>); 0,2 mM de Ca (CaCl<sub>2</sub>.H<sub>2</sub>O); 0,2 mM de Mg (MgSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O); 0,5 mM de K (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>); 0,1 mM de P forma NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O; 10 µM de Fe - FeNa EDTA; 0,4 µM de Mn MnSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O; 0,16 µM de Zn ZnSO<sub>4</sub>; 0,04 µM de Cu CuSO<sub>4</sub>; 0,5 µM de Mo MoO<sub>3</sub>; 0,04 µM de Co CoSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,15 com uso de solução de 1 M da HCl e 1 M de NaOH.

A solução estoque de alumínio usada em todos os experimentos de solução nutritiva foi preparada na concentração de 10 mM de Al na forma AlCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O diluída em água deionizada e depois mantida em geladeira. Na água deionizada utilizada foi colocado 1mL de solução de 1 M de HCl para manter o pH abaixo de 4,0 para o Al ficar disponível na solução.

Nos experimentos 2, 3, 4 e 5 foi utilizado 1 planta por vaso. O pH da solução foi ajustado para 4,0 a 4,1 com uso de solução de 1 M da HCl e 0,1 M de KOH.

Os parâmetros calculados foram Elongação Radicular Relativa (ERR%) e a Taxa de Crescimento Radicular (TCR): A elongação radicular relativa (ERR%) é uma avaliação do comportamento do crescimento radicular das plântulas em contato com a solução de alumínio em relação às plântulas crescidas sem contato com alumínio. Deste modo, trata-se de uma avaliação percentual do efeito do tratamento do alumínio retirando o crescimento natural das raízes que ocorre nesta condição. Elongação radicular relativa (ERR%), foi calculada de acordo com a equação proposta por VASCONCELOS et al., (2002).

$$ERR = ((CfAlx - CiAlx) / (CfAl0 - CiAl0)) * 100$$

Onde:

ERR: elongação radicular relativa

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

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

CiAl0: Comprimento radicular inicial da raiz principal (cm) antes da exposição à solução sem Al;

CfAl0: 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:

$$TCR = (Cf. - Ci) / (\Delta t).$$

Onde:

Cf. – comprimento radicular final;

Ci - comprimento radicular inicial;

$\Delta t$ : Intervalo do tempo em dias;

Os sintomas visuais das raízes foram avaliados quanto à cor, forma e ramificações.

## 3. 2 Experimentos realizados

### 3.2.1 Experimento 1 – Germinação de sementes de Angico em diferentes concentrações de Alumínio

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Análise de Sementes localizado no Departamento de Fitotecnia, Instituto de Agronomia da Universidade. As sementes de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan – Fabaceae) foram coletadas com auxílio de um podão, em seguida encaminhadas ao laboratório de Química da Rizosfera e levadas ao sol para completar a abertura das vagens e liberação das sementes. Realizou-se uma pré-seleção e limpeza das impurezas das sementes sendo posteriormente armazenadas em geladeira. Antes da semeadura, as sementes foram selecionadas e submersas em solução de hipoclorito de sódio a 6% por 5 minutos para desinfecção (BRASIL, 2013).

Foram utilizadas 6 concentrações de alumínio (0, 50, 100, 200, 400 e 800  $\mu$ M de Al).

O teste de germinação consistiu em colocar quatro repetições de 25 sementes distribuídas em três folhas de papel germitest, embebidas com 2,5 vezes o seu peso (BRASIL, 2013) com as soluções mencionadas anteriormente.

Em cada dosagem de alumínio testada foram utilizadas 25 sementes por três folha de papel germitest, sendo este procedimento repetido por 4 vezes em cada tratamento, totalizando 100 sementes.

As sementes foram colocadas nas folhas de papel germitest que foram enroladas, formando um cilindro com 25 sementes, e envolvido em sacos plásticos. Foram utilizados 4 cilindros por tratamento de alumínio, totalizando 100 sementes. Os cilindros foram levados para uma câmara incubadora (tipo BOD) e mantidos à temperatura constante de 25 °C. As contagens foram feitas aos 3 e 10 dias, conforme recomendado por Brasil (2013), computando-se germinação, plântulas normais, plântulas anormais e sementes mortas. Os resultados foram expressos em porcentagem. Foi considerado germinadas as plântulas com emissão de 2 mm de radícula.

No décimo dia foi realizado a mensuração do comprimento radicular, comprimento de parte aérea e diâmetro do colo. Para comprimento radicular e de parte aérea foi utilizado régua graduada e para diâmetro do colo, utilizou-se paquímetro digital. Posteriormente separou-se raiz de parte aérea de cada plântula, identificadas e colocadas separadamente em saco de papel e levada para serem secas em estufa sem ventilação forçada a 65° por 48h, após foram retiradas da estufa e pesadas para obter a massa seca.

### **3.2.2 Experimento 2 -Crescimento em solução nutritiva simples (baixa força iônica) por 18 dias, após 11 dias da sementeira.**

A germinação ocorreu em 2 dias após a sementeira (DAS) tendo sido obtido uma taxa de germinação de 88%. O transplântio para solução nutritiva foi realizado 11 DAS, quando as raízes principais apresentavam comprimento entre 9 a 11 cm. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 6 tratamentos (0, 50, 100, 200, 400 e 800 µM de Al. A partir da data de instalação do experimento, as raízes das plântulas de *A. macrocarpa* foram medidas diariamente utilizando régua graduada, totalizando 18 dias de cultivo. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada constantemente através de um compressor de ar.

Após 18 dias em solução foi realizado a coleta das plantas e foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, e o TCR.

### **3.2.3 Experimento 3 -Crescimento em solução nutritiva simples por 10 dias - 5 dias após sementeira.**

A germinação ocorreu em 2 dias após a sementeira (DAS) tendo sido obtido uma taxa de germinação de 98%. O transplântio para solução nutritiva realizado 5 dias após a DAS, quando as raízes principais apresentavam comprimento entre 6,6 a 8,5 cm. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 6 tratamentos (0, 50, 100, 200, 400 e 800 µM de Al). A partir da data de instalação do experimento, as raízes das plântulas de *A. macrocarpa* foram medidas diariamente utilizando régua graduada, totalizando 10 dias de cultivo. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada constantemente através de um compressor de ar.

Após 18 dias em solução foi realizado a coleta das plantas foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR.

### **3.2.4 Experimento 4 – Crescimento em solução nutritiva simples por 18 dias - 5 dias após sementeira.**

A germinação ocorreu em 2 dias após a sementeira (DAS) tendo sido obtido taxa de germinação de 98%. O transplântio para solução nutritiva realizado 5 dias após a DAS, quando as raízes principais mediam entre 5,0 a 7,1cm de comprimento. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 7 tratamentos (0, 50, 100, 200, 400, 800 e 1600 µM de Al) na forma de  $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ . A partir da data de instalação do

experimento, as raízes das plântulas de *A. macrocarpa* foram medidas diariamente utilizando régua graduada, totalizando 18 dias de cultivo. A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas e aerada constantemente através de um compressor de ar.

Após 18 dias em solução foi realizado a coleta das plantas foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR.

### **3.2.5 Experimento 5 – Crescimento em solução nutritiva completa por 18 dias na solução, após quatro dias da sementeira.**

A germinação ocorreu em 2 dias após a sementeira (DAS) tendo sido obtida taxa de germinação de 98%. O transplante para solução nutritiva completa foi realizado 4 dias após a DAS, quando as raízes principais mediam entre 3,6 a 4,5cm de comprimento. Foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado com 6 tratamentos (0, 50, 100, 200, 400 e 800 $\mu$ M de Al).

A solução nutritiva foi trocada a cada 72 horas sendo submetidas a aeração constante. Foram realizadas medições diárias do comprimento da raiz principal até o quarto dia, após este período as medições foram realizadas a cada 72 horas, coincidindo com a troca da solução.

Após 18 dias em solução foi realizado a coleta das plantas foram avaliadas o comprimento da raiz principal e da parte aérea, ERR%, TCR.

No experimento 5 realizou-se teste de avaliação da coloração de raízes expostas ao alumínio, sendo utilizado o corante hematoxilina para visualização do alumínio na superfície das raízes. Após a retirada das plantas da solução nutritiva, estas foram colocadas em vasos de 100 mL contendo água deionizada por 30 minutos para retirar o excesso de alumínio, após este período, foram transferidas para vasos de 100 mL contendo corante, permanecendo por 15 minutos. Ao final desse período as plantas eram novamente colocadas em vasos de 100 mL contendo água deionizada por 30 minutos, posteriormente foram colocadas em papel toalha. A avaliação foi feita por análise visual sendo atribuídas notas de zero a cinco, sendo cinco para as raízes mais escuras. As notas foram obtidas através da média de três avaliadores.

A solução estoque de hematoxilina foi preparada pela dissolução de 2 g de hematoxilina e 0,2 g de KNO<sub>3</sub> em 1L de água deionizada, além da adição de uma gota de KOH 0,1 mol.L<sup>-1</sup> para facilitar a dissolução do corante, segundo Rincón e Gonzales (1992).

A solução de coloração para as plantas foi preparada a partir da diluição de 5 mL de solução estoque de hematoxilina em 20 mL de água deionizada.

### **3.3.6 Experimento 6 - Crescimento de plântulas de *A macrocarpa* em solo ácido, com diferentes doses de calcário.**

Foram utilizados os primeiros 20 cm de Latossolo Vermelho Amarelo, coletado em Ribeirão das Lages, município de Piraí – RJ. O solo foi peneirado em peneira de 2mm de malha, sendo posteriormente colocado em vasos com capacidade para 542,54 g. As análises químicas e físicas das amostras do solo apresentaram os seguintes resultados: K<sup>+</sup> 0,15 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; Ca<sup>2+</sup> 2,9 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>2+</sup> 0,1 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> 0,5 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; H+Al 4,5 cmol<sub>c</sub>dm<sup>-3</sup>; pH<sub>água</sub> 4,2; areia 9%, silte 15%, argila total 32%.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com 4 repetições, 6 tratamentos (testemunha sem nenhuma adubação, testemunha sem calagem e com adubação, 500, 1000, 2000 e 4000Kg ha<sup>-1</sup>de calcário). O solo quando adubado, foi adicionado 50 Kg ha<sup>-1</sup>N, 100 Kg ha<sup>-1</sup> de P, 60Kg ha<sup>-1</sup>de K e 30Kg ha<sup>-1</sup>de micronutrientes.

As doses de calcário utilizadas foram estimadas através de uma curva de neutralização do solo utilizando o método descrito pelo documento Embrapa (1979). Foi



utilizado calcário dolomítico PRNT de 80%, teor de MgO 10,1% e CaO 33,5%. O fósforo aplicado foi na forma de superfosfato simples ( $P_2O_5$ ), o potássio na forma de cloreto de potássio (KCl), nitrogênio na forma de nitrato de amônio ( $NH_4NO_3$ ) e Micronutrientes como fonte FTE BR 12. Após a aplicação do calcário, fósforo, potássio, nitrogênio e micronutrientes, o substrato foi saturado com água e deixado em repouso por 7 dias para estabilização do pH, em seguida foi realizada a semeadura. Foram semeadas 5 sementes por vaso, sendo posteriormente desbastado deixando 2 plantas por vaso.

A irrigação foi feita diariamente com água deionizada de forma manual. O experimento foi coletado aos 29 dias, quando começou a ocorrer a queda das folhas. Os parâmetros avaliados foram: peso da massa seca das raízes, comprimento da raiz principal e da parte aérea, e diâmetro do colo das plântulas.

A medição do comprimento de raiz principal e parte aérea foram realizadas utilizando régua graduada. O diâmetro do colo das plântulas foi medido utilizando paquímetro digital.

Após esses procedimentos, a parte aérea foi separada da raiz de cada plântula, identificada e colocada em saco de papel e levada para serem secas em estufa sem ventilação forçada a 65° C.

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

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Experimento 1 – Germinação de sementes de *A. macrocarpa* em diferentes concentrações de Alumínio.

As avaliações de germinação foram realizadas aos 3 dias e aos 10 dias após semeadura, conforme recomendado por Brasil 2013. O percentual de germinação não foi afetado pela presença de Al, uma vez que não houve diferença estatística significativa entre as médias do percentual de germinação nas diferentes concentrações de Al (Tabela 1). Também não foi observada diferença entre o dia 3 e 10 em relação à porcentagem de germinação. Os tratamentos com maiores concentrações (400 e 800  $\mu M$  de Al) também apresentaram os maiores valores percentuais de plântulas anormais, 2,43% e 2,20% respectivamente, embora não diferiram estatisticamente, como pode ser observado na tabela 1. Utilizando a análise de regressão em todos os parâmetros testados, não foi encontrada nenhuma correlação entre as doses de alumínio, porcentagem de germinação e porcentagem de plântulas anormais.

**Tabela 1.** Porcentagem de germinação (%G) aos 3 dias e aos 10 dias após semeadura e porcentagem de plântulas anormais aos 10 dias após semeadura de *Anadenanthera macrocarpa* germinadas em papel germitest com diferentes concentrações de Al.

Concentração de Al ( $\mu\text{M}$ )	Dias		
	3	10	
	% de Germinação	% de Germinação	% plântulas anormais
0	95 a	95 a	1,36 a
50	97 a	99 a	1,21 a
100	94 a	94 a	1,87 a
200	92 a	92 a	1,71 a
400	93 a	93 a	2,43 a
800	99 a	99 a	2,20 a
CV %	3,97	4,21	80,81

Medias com letras minúsculas iguais nas colunas não diferem entre si pelo teste Tukey 5%.

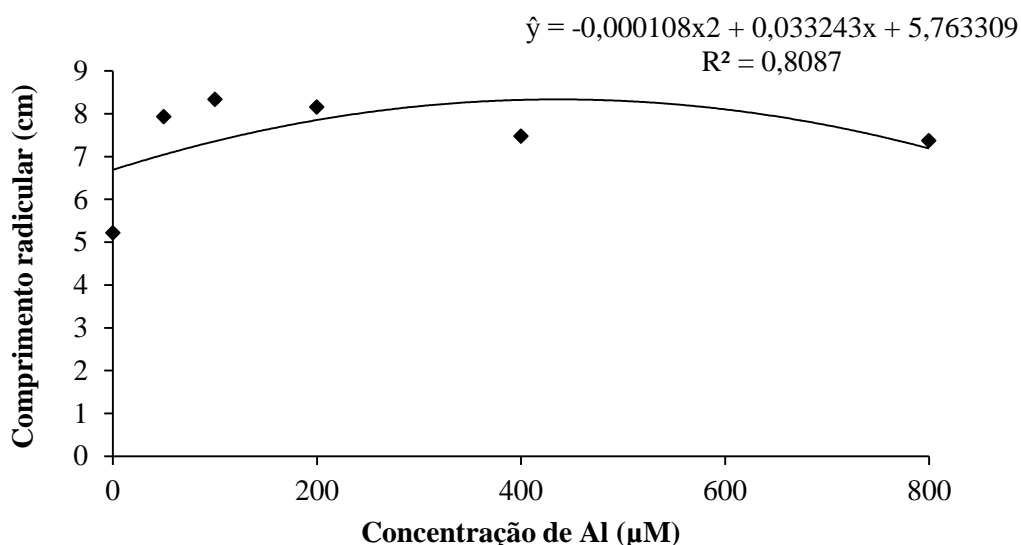
As médias de comprimento radicular, comprimento de parte aérea e diâmetro do colo foram submetidos ao teste Tukey 5% (Tabela 2). Para o comprimento radicular e comprimento de parte aérea, as médias do tratamento controle (0  $\mu\text{M}$  de Al) diferiram estatisticamente dos tratamentos contendo Al, embora os tratamentos contendo Al não foram estatisticamente diferentes entre eles. Para diâmetro do colo as médias não diferiram estatisticamente

**Tabela 2.** Média de comprimento radicular, comprimento de parte aérea e diâmetro do colo de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) aos 10 dias após plantio germinadas em papel germitest com diferentes concentrações de Al.

Conc. de Al $\mu\text{M}$	Comprimento radicular (cm)	Comprimento parte aérea (cm)	Diâmetro do colo (mm)
0	5,21b	4,22 b	1,08 a
50	7,93 a	6,94 a	1,18 a
100	8,33 a	7,10 a	1,11 a
200	7,47 a	6,71 a	1,07 a
400	7,36 a	6,76 a	1,09 a
800	7,36 a	6,55 a	1,11 a
CV%	8,24	7,5	5,26

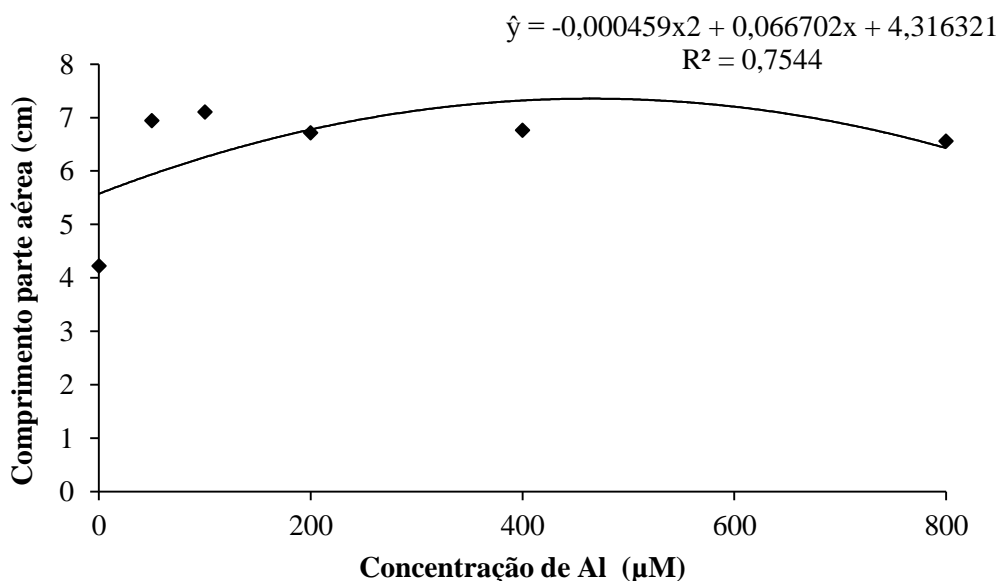
Medias com letras minúsculas iguais não diferem pelo teste Tukey 5%

Plântulas germinadas em papel germitest sem Al apresentaram menor comprimento radicular (5,22 cm), enquanto que a maior média foi observada no tratamento 100  $\mu\text{M}$  de Al (8,33 cm). Para melhor compreensão e exploração dos dados é apresentada na Figura 1 a análise de regressão, o modelo que apresentou melhor ajuste foi o quadrático, apresentando coeficiente de determinação,  $R^2 = 0,8087$ . De acordo com este modelo, somente na concentração de 307,80  $\mu\text{M}$  ocorreria a diminuição do crescimento radicular. Deve ser observado que este valor foi obtido com a equação que possui um coeficiente de correlação de 0,8992%, não muito elevado, devido provavelmente ao aumento inicial do crescimento radicular ocorrido com a adição de 50 a 100  $\mu\text{M}$  de alumínio na solução.



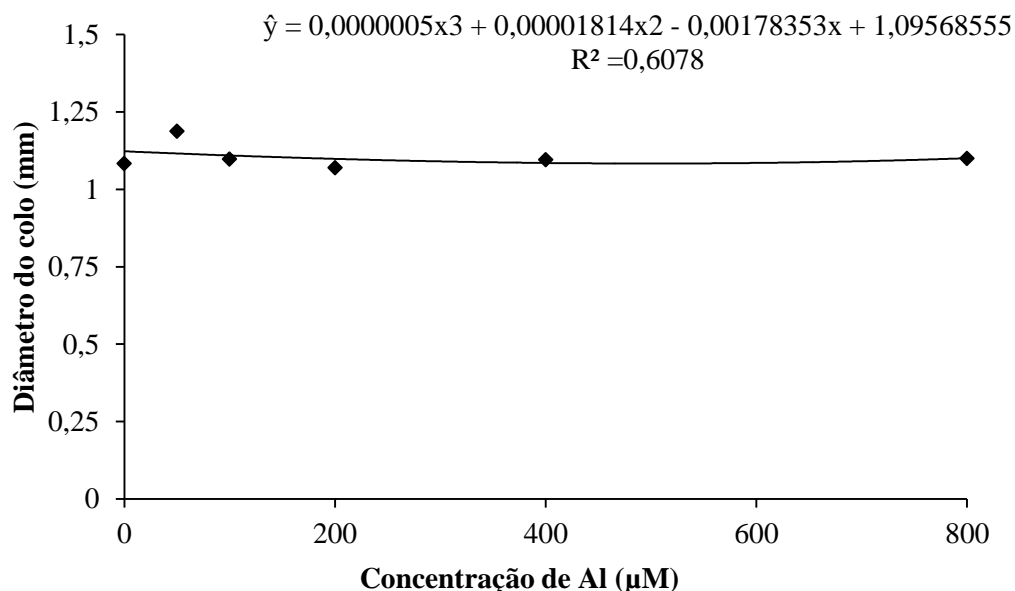
**Figura 1:** Análise de regressão do comprimento radicular de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) submetidas a diferentes concentrações de Al aos 10 dias após início do teste \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 8,24

Para comprimento de parte aérea, assim como observado na raiz, o menor comprimento médio é encontrado no tratamento controle 0µM de Al (4,22 cm) e o maior comprimento médio no tratamento 100 µM de Al (7,10 cm). Na análise de regressão, o modelo que melhor se ajustou à distribuição dos dados foi o quadrático (Figura 2) apresentando o maior valor de  $R^2 = 0,7544$ . De acordo com este modelo, somente na concentração de 145,36 µM ocorreria à diminuição do crescimento da parte aérea, após ocorrer o estímulo inicial ao crescimento provocado pela adição de alumínio na solução, seguindo a mesma tendência que ocorreu para o crescimento radicular.



**Figura 2:** Análise de regressão do comprimento de parte aérea de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a diferentes concentrações de Al aos 10 dias após início do teste \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 7,50

Para diâmetro do colo, a maior média foi observado no tratamento 50  $\mu\text{M}$  de Al (1,19 mm) e a menor média foi encontrada no tratamento 200  $\mu\text{M}$  de Al (91,01 mm). A equação que melhor se ajustou a distribuição dos dados foi cúbica (Figura 3) apresentando coeficiente de determinação ( $R^2$ ) = 0,6078. Estes resultados da variância indicados pela que o a análise de regressão foi muito diferente dos resultados do teste Tukey 5% que indicou que estas médias foram iguais.



**Figura 3:** Análise de regressão do diâmetro do colo de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa*) no décimo dia, após terem sido submetidas a diferentes concentrações de Al por 10 dias \*\*Significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 5,26.

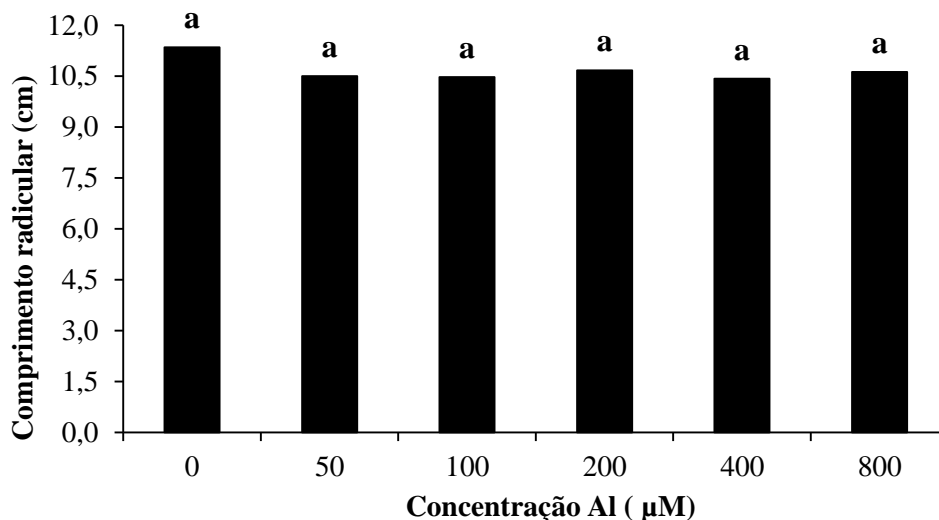
#### 4.2. Experimento 2 -Crescimento em solução nutritiva simples por 10 dias – 11 dias após semeadura.

A análise de variância da interação entre as concentrações de alumínio x dias, período em que as plantas permaneceram na solução simples para o comprimento radicular de plântulas de Angico Ao longo de 11 dias em solução nutritiva simples ocorreu efeito das concentrações de alumínio, os dias não influenciaram, mas houve a interação entre os fatores (concentrações de Al x dias de cultivo). Pode ser observado que o coeficiente de variação foi baixo (Tabela 3). Quando foi analisado o efeito da concentração de alumínio e a interação entre alumínio x dias, isoladamente, apesar de ser significativo como demonstrado na Tabela, a aplicação do teste Tukey 5% não detectou diferenças entre as médias nestas duas fontes de variação (Figura 4).

**Tabela 3.** Análise de Variância do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.

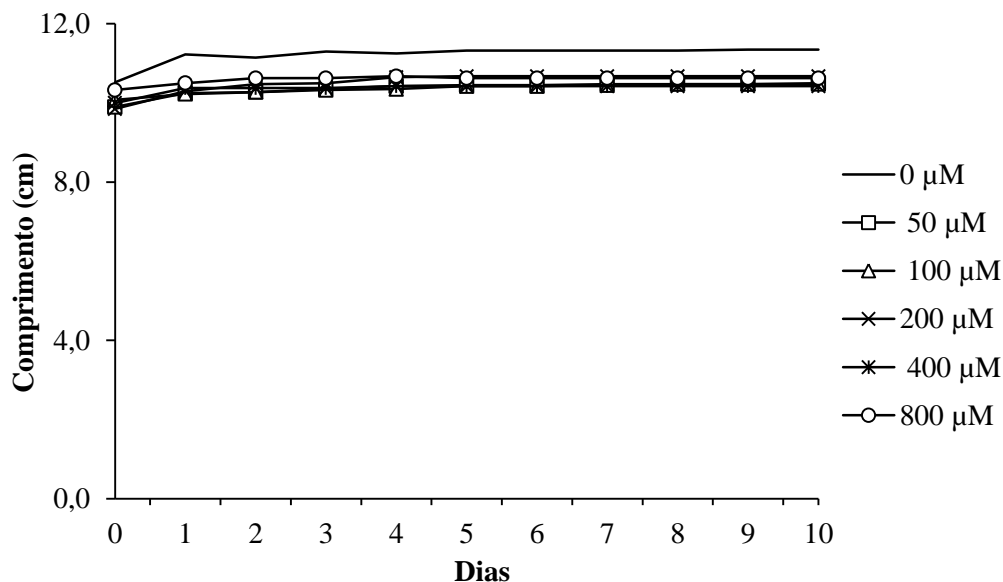
Fonte de Variação	Valor de F
Conc. de Al	5,7611**
Dias	0,8481 ns
Conc. de Al x Dias	0,0303 **

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .05$ ) ns não significativo ( $p \geq .05$ ). CV 8,53%



**Figura 4:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) no décimo primeiro dia após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. CV % = 8,66

Pode ser observado na figura 5 que cerca de dois após a transferência as plântulas pararam de crescer, entretanto, pode ser visto que no tratamento sem adição de alumínio as raízes cresceram mais, evidenciando efeito das doses do alumínio sobre elas.



**Figura 5:** Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), ao longo de 11 dias crescidas em solução simples e em diferentes concentrações alumínio.

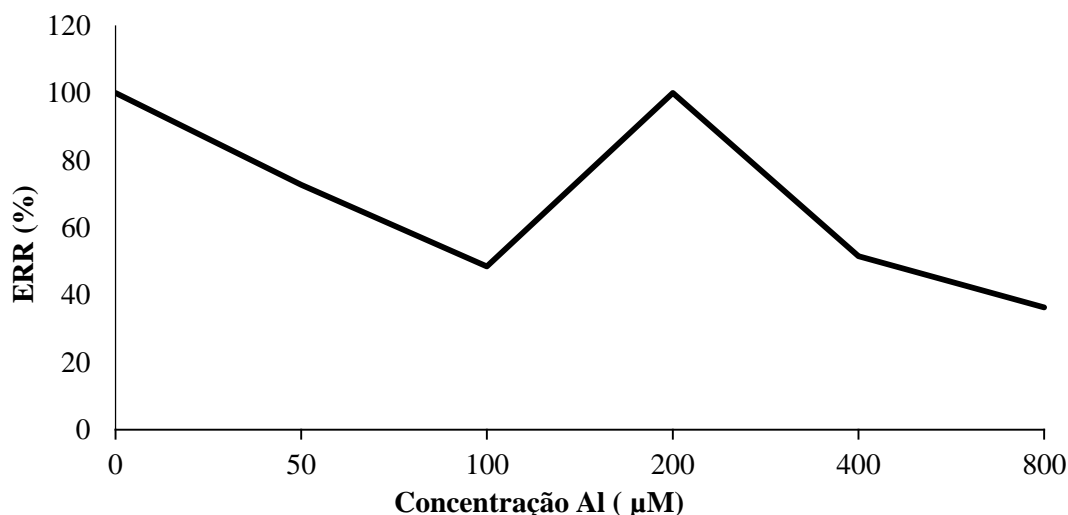
A tabela 4 apresenta o resumo da análise de variância do comprimento radicular de plântulas crescidas em solução nutritiva simples, para esses dados quando foi realizada a análise de regressão e nenhuma equação se ajustou de forma significativa no intervalo proposto demonstrando que não ocorreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ).

**Tabela 4.** Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 11 dias.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,4730	0,5529	ns
Reg linear	1	0,7613	0,8898	ns
Reg quadrática	1	0,4730	0,5529	ns
Resíduo	18			
Total	23			

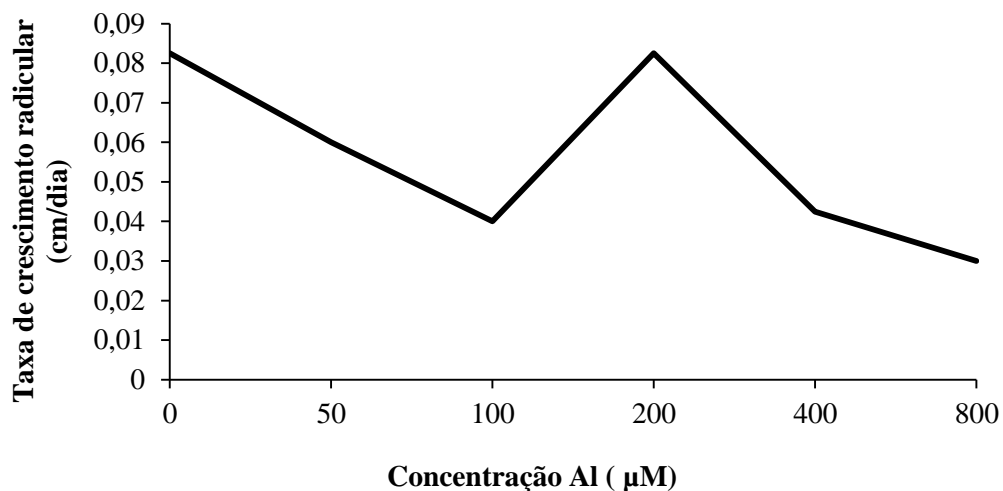
Ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 8,66

As taxas de alongação radicular relativa (ERR%), representadas na figura 6, mostram diminuição de crescimento nas concentrações 50, 100, 400 e 800  $\mu\text{M}$  Al, ocorrendo um aumento na concentração 200  $\mu\text{M}$  o qual teve alongação radicular (ERR%) igual ao tratamento controle (0 $\mu\text{M}$  Al). O tratamento apresentando a maior concentração (800  $\mu\text{M}$  Al) apresentou uma redução de 63,36%.



**Figura 6:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 11 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.

Aos 11 dias de implantação do experimento, a menor taxa de crescimento radicular (Figura 7) ocorreu no tratamento 800  $\mu\text{M}$  de Al (0,03 cm), porém estatisticamente não houve diferença significativa em relação aos demais tratamentos. De acordo com a análise de regressão deste parâmetro, não ocorreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) das concentrações de alumínio sobre taxa de crescimento radicular.



**Figura 7:** Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas por 11 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5%. CV % = 67,86.

A tabela 5 apresenta o resumo da análise de variância da taxa de crescimento radicular de plântulas crescidas em solução nutritiva simples em diferentes concentrações de alumínio, para esses dados foi realizada a análise de regressão e nenhuma equação se ajustou de forma significativa no intervalo proposto. Os dados indicam que o efeito do alumínio no crescimento radicular não foi estatisticamente significativo nas condições testadas.

**Tabela 5:** Resumo da análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,00203	1,3916	ns
Reg linear	1	0,00424	2,9124	ns
Reg. quadrática	1	0,00004	0,0294	ns
Resíduo	18			
Total	23			

Ns: não significativo em nível de 5%. CV (%) = 67,86

A partir do quinto dia em solução iniciou-se a queda das folhas, inicialmente no tratamento 100 µM de Al e posteriormente em todos os tratamentos, exceto o tratamento controle (0µM Al), apresentaram queda foliar.

A figura 8 apresenta o aspecto visual das raízes das plântulas de angico aos 11 dias crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Constatou-se que não houve diferenças visuais nas diferentes concentrações.



**Figura 8:** Raízes de plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) nas diferentes concentrações após 11 dias de cultivo. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D -200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio.

Neste experimento 2 as plântulas foram colocadas nos potes com 11 dias após germinação, de forma geral ocorreu efeito do aumento da concentração de alumínio nos parâmetros radiculares, entretanto, não foram observado diferenças significativas estatisticamente. Por esta razão foi instalado o experimento 3, agora com plântulas mais jovens com 5 dias após semeadura.

#### **4.3. Experimento 3 - Crescimento de plântulas de Angico vermelho em solução nutritiva simples por 10 dias - 5 dias após semeadura.**

A análise de variância do comprimento radicular das plântulas (Tabela 6) demonstrou que ocorreu efeito das concentrações de alumínio no crescimento das raízes, e que estas foram influenciadas pelos dias em contato com a solução, ocorrendo interação entre os fatores (concentrações de Al 10 dias de cultivo).

**Tabela 6** Análise de variância do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.

Fonte de Variação	Valor de F
Conc. de Al	3,4401**
Dias	1,9671**
Conc. de Al x Dias	0,1497**

\*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade. CV: 12,00%

Na figura 9, pode ser observado que só ocorreu diferença significativa estatisticamente pelo teste Tukey 5%, entre tratamento onde foi aplicado alumínio na concentração de 50 µM e



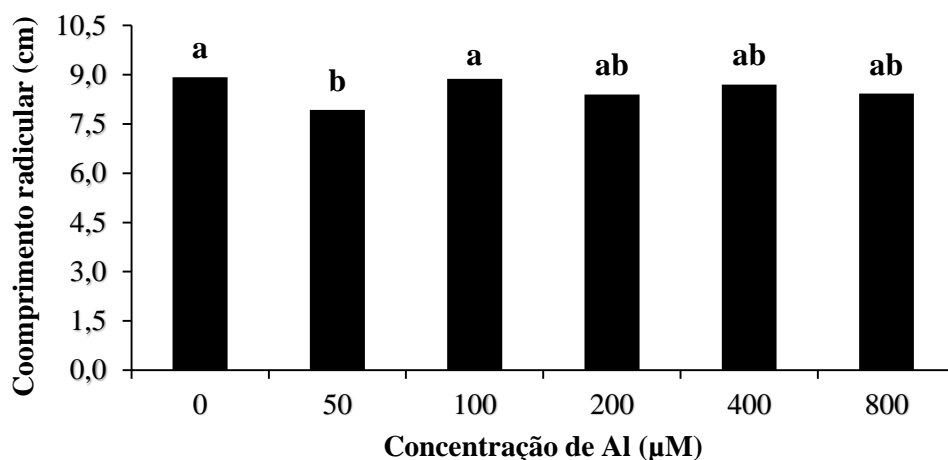
100 $\mu$ M

e

o

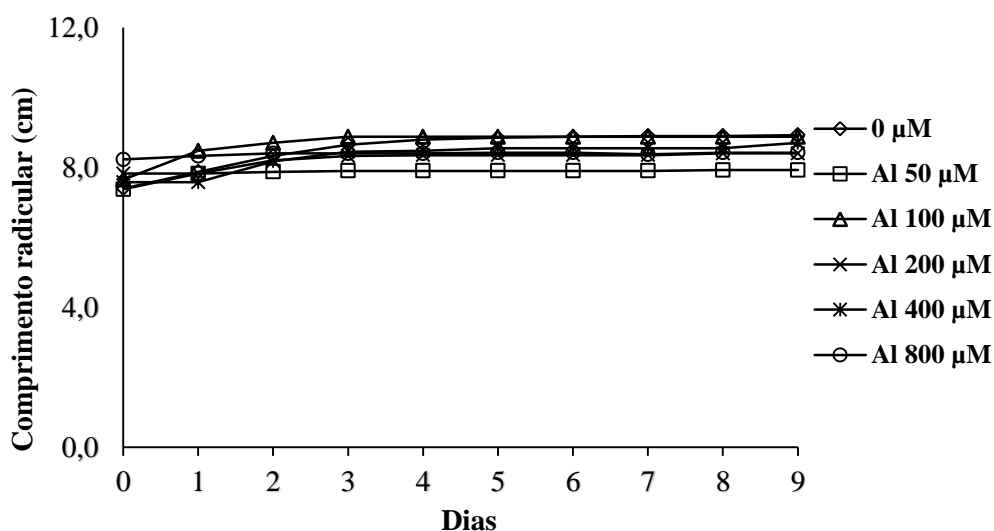
tratamento

controle.



**Figura 9:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) 10 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV%= 12,68

A figura 10 apresenta o comprimento das raízes de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan ao longo de 10 dias de cultivo em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Nesta figura pode ser observado que ocorreu uma tendência de paralisação do crescimento radicular já nos dois primeiros dias após a transferência para a solução nutritiva em todos os tratamentos.



**Figura 10:** Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) ao longo de 10 dias s em solução simples.

A Tabela 7 apresenta o resumo da análise de variância do comprimento radicular de plântulas crescidas em solução nutritiva simples em diferentes concentrações de alumínio,

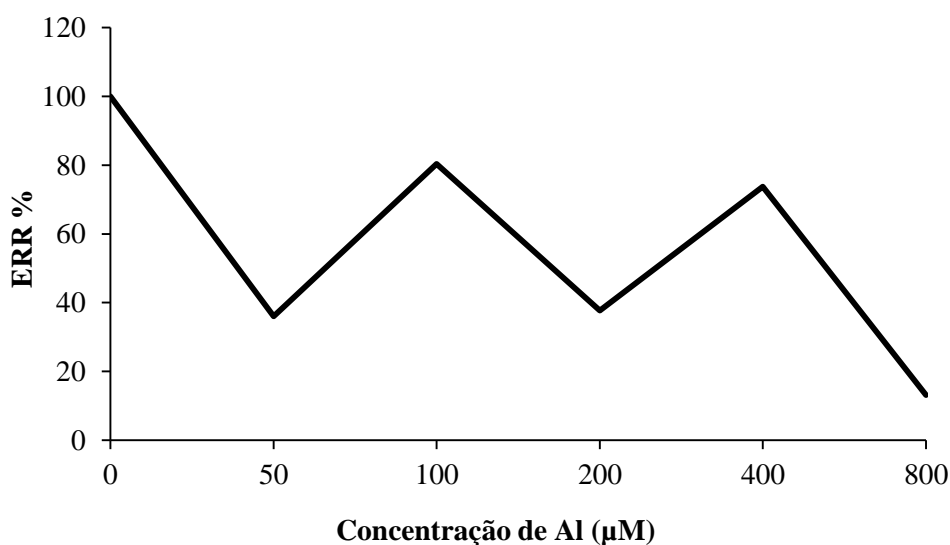
para esses dados foi realizada a análise de regressão e nenhuma equação se ajustou de forma significativa no intervalo proposto.

**Tabela 7:** Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,5576	0,4755	ns
Reg linear	1	0,0241	0,0206	ns
Regquadratica	1	0,0500	0,0427	ns
Residuo	18			
Total	23			

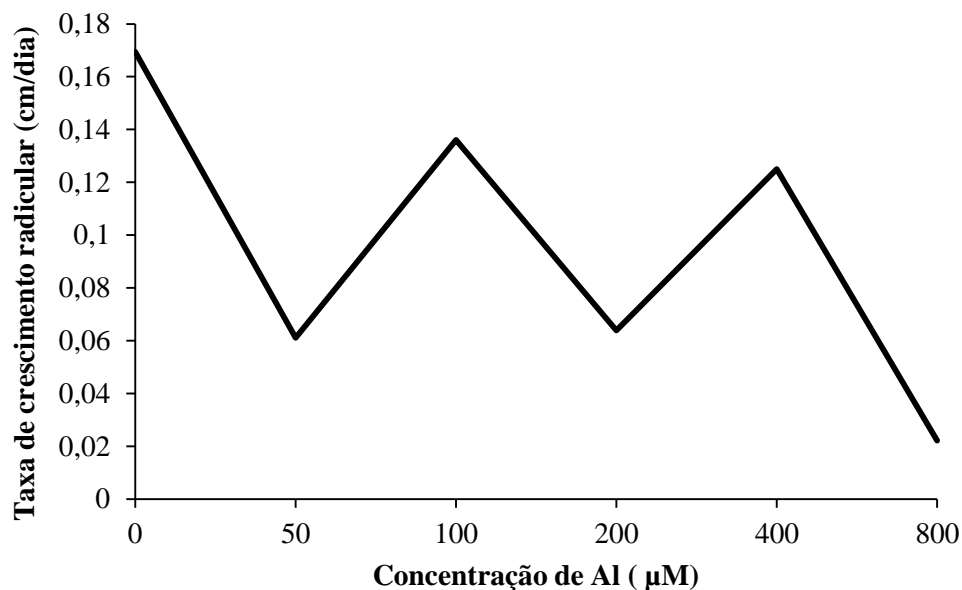
ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 12,68

As taxas de alongação radicular relativa (figura 11) demonstram diminuição de crescimento nas concentrações 50, 100, 200, 400 e 800  $\mu\text{M}$  Al. O tratamento apresentando a maior concentração (800  $\mu\text{M}$  Al) apresentou uma redução de 86,89%.



**Figura 11:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 10 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.

A taxa de crescimento radicular está representada na figura 12, houve um decréscimo das taxas nas concentrações, sendo esse decréscimo maior nas doses 50, 200, e 800 $\mu\text{M}$  de Al. O tratamento controle (0  $\mu\text{M}$  de Al) apresentou a maior taxa de crescimento radicular ao final de 10 dias de cultivo em solução nutritiva simples.



**Figura 12:** Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas por 10 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Significativo ao nível de 5%. CV % = 67,86.

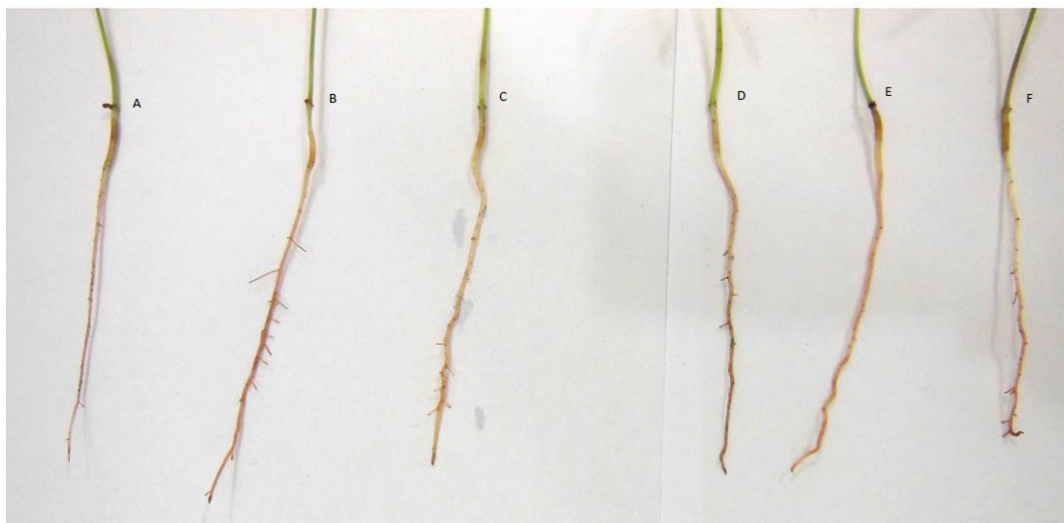
Não foi encontrada no nível de significância de 5% testado, nenhuma equação que se ajustou de forma significativa as concentrações de alumínio na análise isolada realizada apenas ao decimo dia após a transferência para a solução (Tabela 8).

**Tabela 8:** Análise de regressão das taxas de crescimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) aos 10 dias crescidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,01243	2,205	ns
Reg linear	1	0,02173	3,8543	ns
Reg quadrada	1	0,00004	0,0065	ns
Resíduo	18			
Total	23			

Ns; não significativo em nível de 5%. CV (%) = 77,97

A figura 13 apresenta o aspecto visual das plântulas de *A. macrocarpa* (Benth.) aos 10 dias crescidos em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Constatou-se que houve diferenças visuais entre as diferentes concentrações. No tratamento controle (0µM Al) representada pela letra A, as raízes apresentaram ápice mais fino, a medida que houve aumento das concentrações, as raízes apresentaram um leve engrossamento dos ápices radiculares e nas maiores concentrações (D - 200 µM, E - 400 µM, F 800 µM) ocorreu o entortamento dos ápices radiculares



**Figura 13:** Raízes de plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 10 dias de cultivo. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D -200 µM, E – 400 µM, F 800 µM de alumínio.

Neste experimento 3 foi observado a partir do sexto dia, queda foliar, iniciando no tratamento 200 µM e posteriormente nas outras concentrações, exceto na concentração de 800 µM permanecendo com as folhas intactas até o encerramento do experimento.

Pode ser constatado que neste experimento devido as plântulas terem sido transferidas mais precocemente para solução nutritiva, os efeitos foram mais pronunciados. Entretanto, como ficou apenas por 10 dias em contato com a solução nutritiva, foi proposto o experimento 4 onde as plântulas foram deixadas por 18 dias na solução e sendo adicionado mais um tratamento de alumínio.

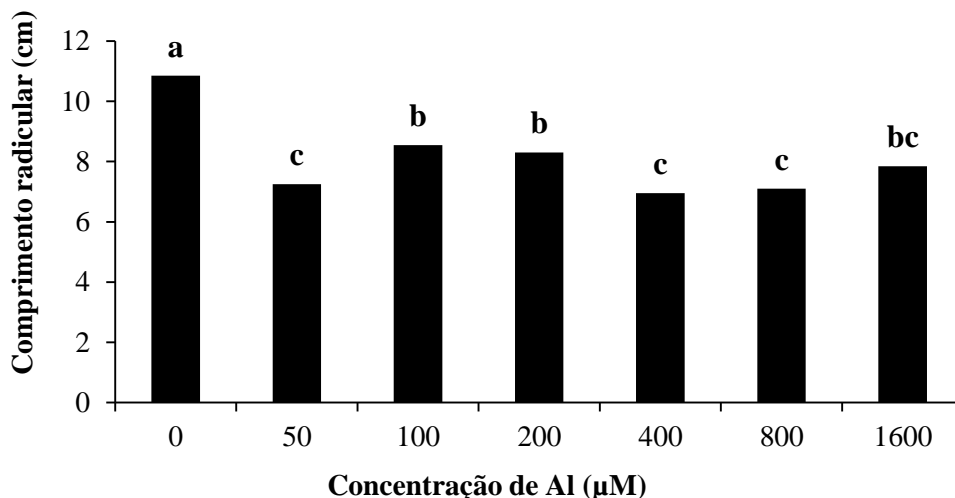
#### 4.4 Experimento 4 - Crescimento em solução nutritiva simples por 18 dias - 5 dias após semeadura.

Os dados para a análise de variância do experimento estão na Tabela 9. Pode ser observado que ocorreu efeito significativo analisado pelo teste F para todos as fontes de variação testadas: Concentração de Al, Dias e interação entre as concentrações de alumínio x dias. Quando foi analisado o efeito da concentração de alumínio no comprimento radicular pode ser observado na Figura 14 que o tratamento que não recebeu alumínio na solução apresentou o maior comprimento radicular, sendo diferente de todos os demais tratamentos. Os menores comprimentos radiculares foram obtidos nos tratamentos com 50, 400 e 800 µM de Al na solução simples. Também não foram diferentes entre si as doses 100, 200 e 1600 µM de Al quando comparadas pelo teste de Tukey 5%.

**Tabela 9:** Análise de Variância do crescimento radicular de plântulas de Angico (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.

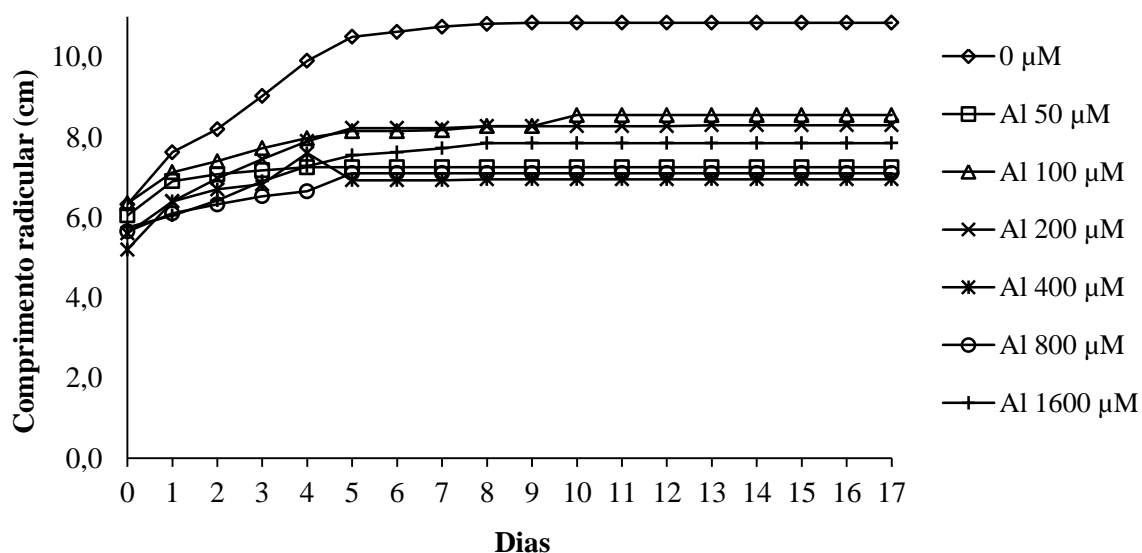
Fonte de Variação	Valor de F
Conc. de Al	3,4401**
Dias	1,9671**
Conc. de Al x Dias	0,1497**

\*\* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $p < .05$ ), CV 12,00 %



**Figura 14:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV % = 19,61

Para a análise isolada para o efeito do dia e da interação dias x concentração, os dados não foram apresentados. Não ocorreu diferenças significativas pelo teste de Tukey a 5% do dia da transferência para a solução nutritiva ao dia 3. O crescimento parou de ocorrer a partir do 4º dia após a transferência. Entretanto, pode ser observado que no tratamento sem adição de alumínio as raízes cresceram mais, evidenciando efeito das doses do alumínio (Figura 15).



**Figura 15:** Comprimento radicular das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias crescidas em solução simples em diferentes concentrações de alumínio.

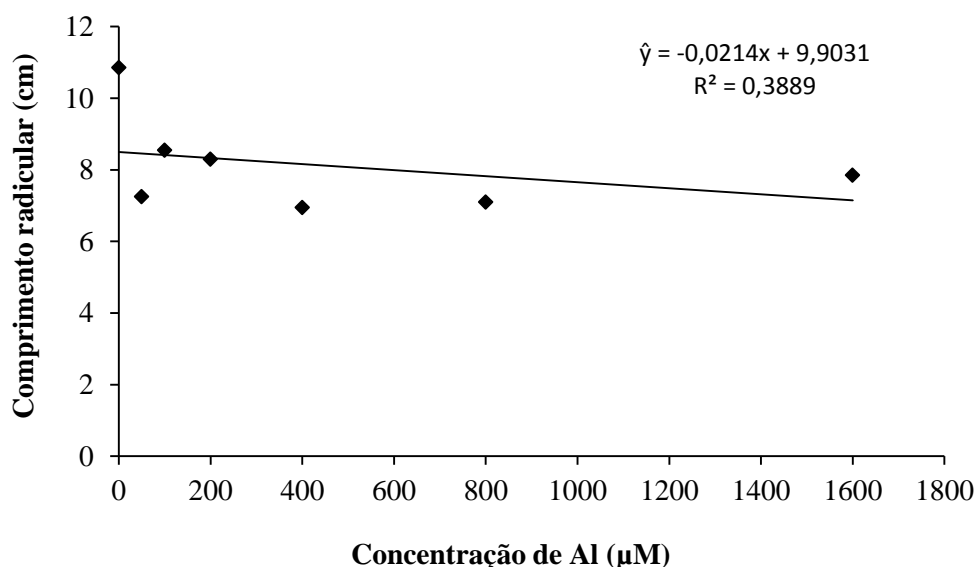
Quando foi utilizada a análise de regressão (Tabela 10) para estudar apenas o que ocorreu na avaliação realizada no último dia, analisando efeito das concentrações de alumínio

no crescimento radicular, a equação que foi mais significativa foi a da reta  $R^2 = 0,3889$ , indicando que não ocorreu, efeito das dosagens sobre comprimento radicular no final do experimento (Figura 16).

**Tabela 10.** Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 18 dias.

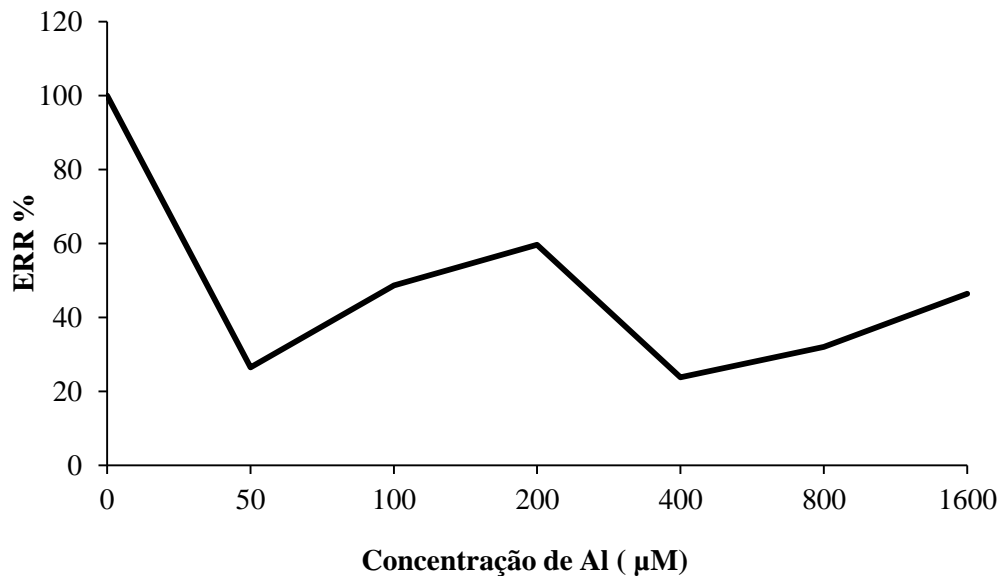
Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	6	43,63714	2,8682	*
Reg linear	1	16,97286	3,5763	*
Reg quadrada	1	9,06857	0,4108	ns
Residuo	21			
Total	27			

ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 19,61



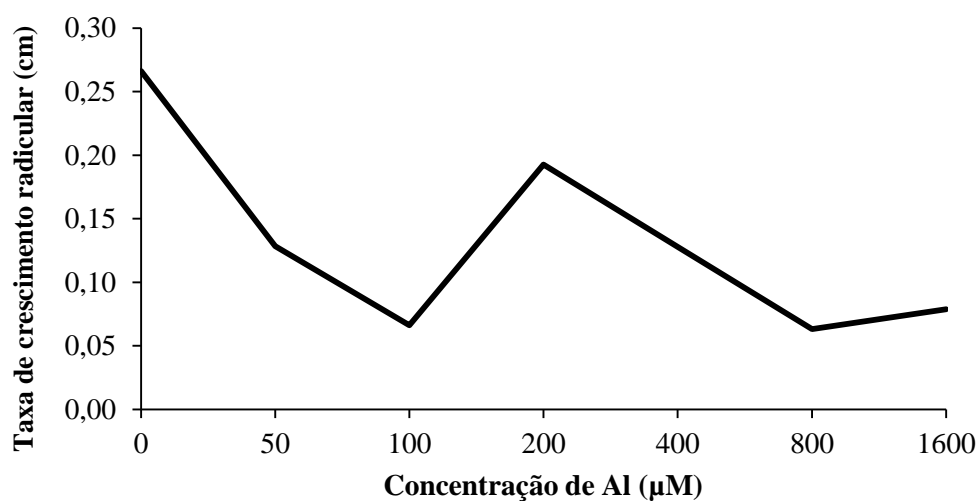
**Figura 16:** Comprimento radicular de Angico vermelho *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) submetidas a diferentes concentrações de Al, em solução nutritiva simples. No décimo oitavo dia.

As taxas de alongação radicular relativa (figura 17) demonstram diminuição de crescimento em todos os tratamentos contendo alumínio, apresentando na concentração 400 µM Al, uma redução de 76,24%.



**Figura 17:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 18 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.

Na avaliação do efeito dos dias de cultivo sobre as taxas de crescimento radicular, a maior taxa, foi igual a 1,23 cm/dia e foi observada no tratamento controle (0 μM de Al) com 1 dia na solução nutritiva simples. A taxa de crescimento radicular está representada na figura 18. O tratamento controle (0 μM de Al) apresentou a maior taxa de crescimento radicular ao final de 18 dias de cultivo em solução nutritiva simples; as duas maiores doses de Al, 800 e 1600 μM foram os tratamentos que apresentaram as menores taxas.



**Figura 18:** Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas por 18 dias em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio.

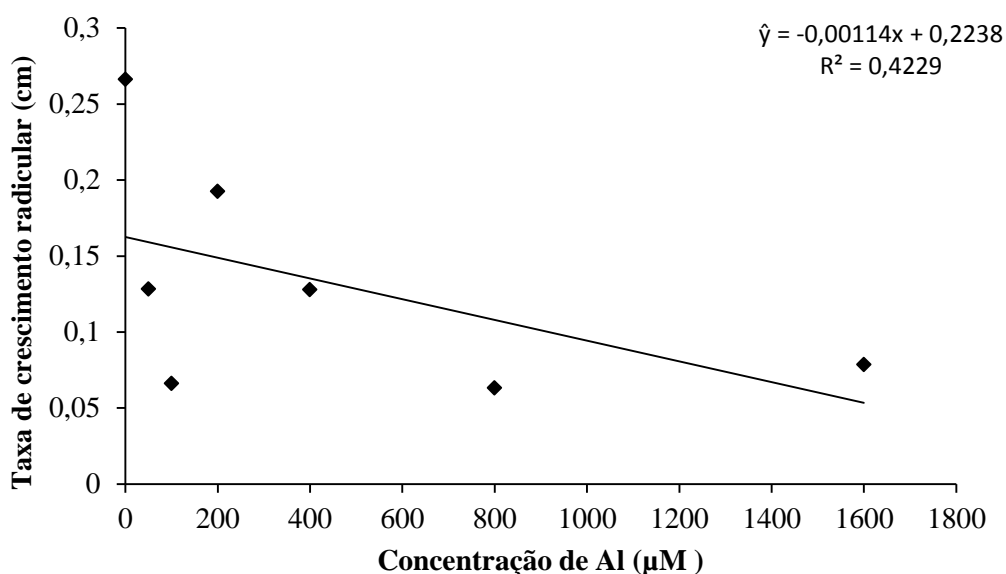
A análise de variância da regressão da taxa de crescimento radicular demonstrou que houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ). A tabela 11 apresenta o resumo da análise de variância da taxa de crescimento radicular das plântulas aos 18 dias de cultivo em solução nutritiva simples. Esta análise mostrou que ocorreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) das concentrações de alumínio no crescimento das raízes.

**Tabela 11:** Resumo da Análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada aos 18 dias.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	6	0,13446	3,4339	*
Reg linear	1	0,05686	8,7122	*
Reg quadrada	1	0,00657	1,0060	ns
Resíduo	21			
Total	27			

\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ) ns não significativo a nível de 5%.  
CV (%) = 61,26

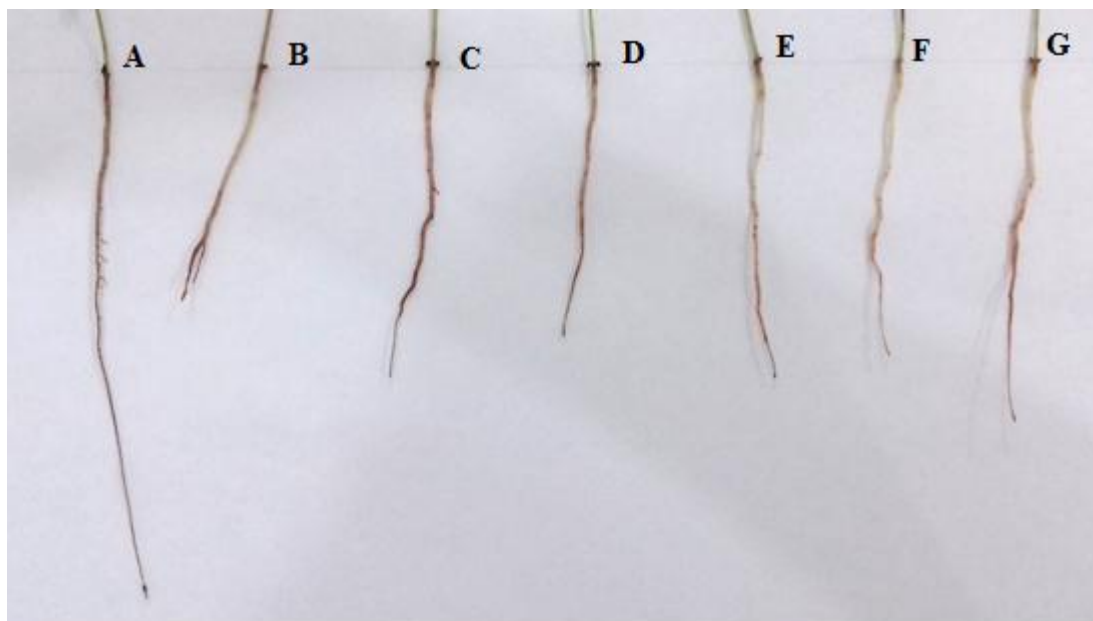
A figura 19 apresenta a análise de regressão das taxas de crescimento radicular das plântulas crescidas em solução nutritiva simples. O modelo de regressão linear foi o que melhor representou a distribuição dos dados, apresentando  $R^2 = 0,4229$



**Figura 19:** Taxa de crescimento de raízes de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) submetida a concentrações crescentes de Al, em solução nutritiva simples. Com 18 dias de cultivo.

A figura 20 apresenta o aspecto visual das plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan no décimo oitavo dia, em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio. Constatou-se que foram observadas diferenças visuais nas diferentes concentrações: no tratamento controle (0 µM Al) representada pela letra A é maior quando comparadas as raízes dos tratamentos com alumínio. Os ápices radiculares das concentrações 400 e 1600 µM Al apresentaram um leve engrossamento e estavam escurecidos.





**Figura 20:** Raízes de plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo em solução nutritiva. A – sem alumínio, B – 50 µM, C – 100 µM, D - 200 µM, E – 400 µM, F 800 µM e G 1600 µM de alumínio.

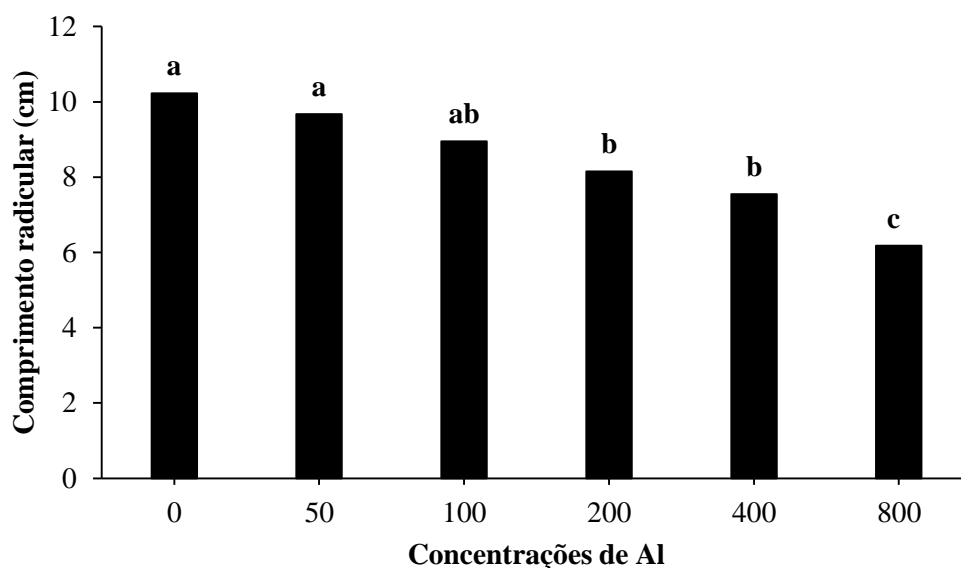
#### 4.5 Experimento 5 - Crescimento em solução nutritiva completa

Ao longo de 18 dias em solução nutritiva completa ocorreu efeito das concentrações de alumínio, os dias influenciaram e houve a interação entre os fatores (concentrações de Al x dias de cultivo). Pode ser observado que o coeficiente de variação pode ser considerado médio (Tabela 12). Quando foi analisado o efeito da concentração de alumínio e a interação entre alumínio x dias, isoladamente, a aplicação do teste Tukey 5% detectou diferenças entre as médias nestas duas fontes de variação e o tratamento controle (0 µM de Al) não diferiu estatisticamente das concentrações 50 e 100 µM, diferindo das demais concentrações. A maior concentração (800 µM de Al), apresentou a menor média diferindo estatisticamente de todas as outras concentrações o que evidencia a influência do alumínio sobre o desenvolvimento desta espécie. (Figura 21).

**Tabela 12:** Análise de Variância do crescimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio e dias de avaliação.

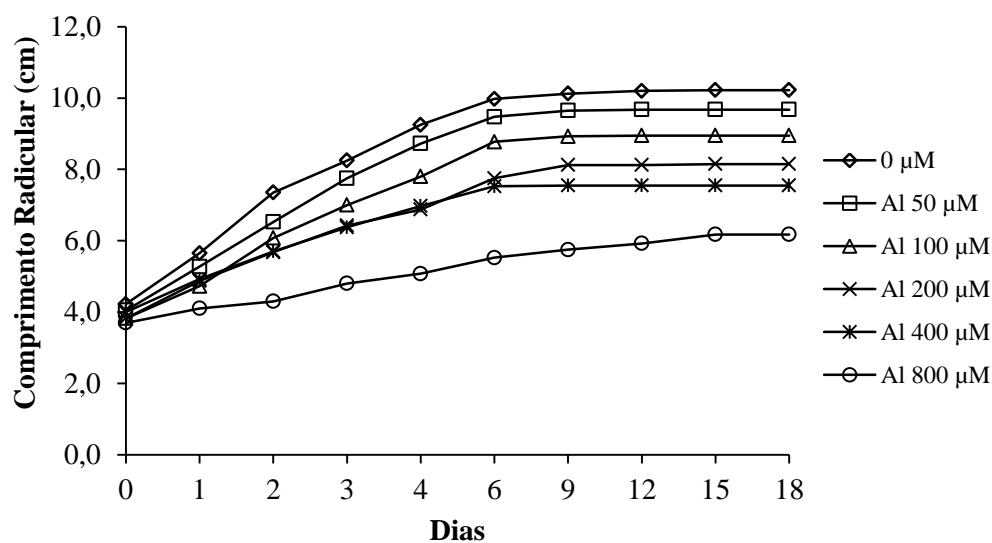
Fonte de Variação	Valor de F
Conc. de Al	18,11 **
Dias	26,30 **
Conc. de Al x Dias	0,4343 **

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade. CV (%) = 21,45



**Figura 21:** Comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) ao longo de 18 dias após transferência para a solução nutritiva simples com alumínio. Letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey 5%. CV % = 18,78 aos 18 dias.

A figura 22 apresenta o comprimento radicular das plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan nos diferentes tratamentos ao longo de 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa. Se compararmos o crescimento das raízes no tratamento controle (0 μM de Al) com os demais tratamentos, pode ser observado que foi onde ocorreu o maior crescimento, o comprimento radicular diminuiu progressivamente à medida que houve aumento das concentrações, demonstrando toxicidade ao alumínio.



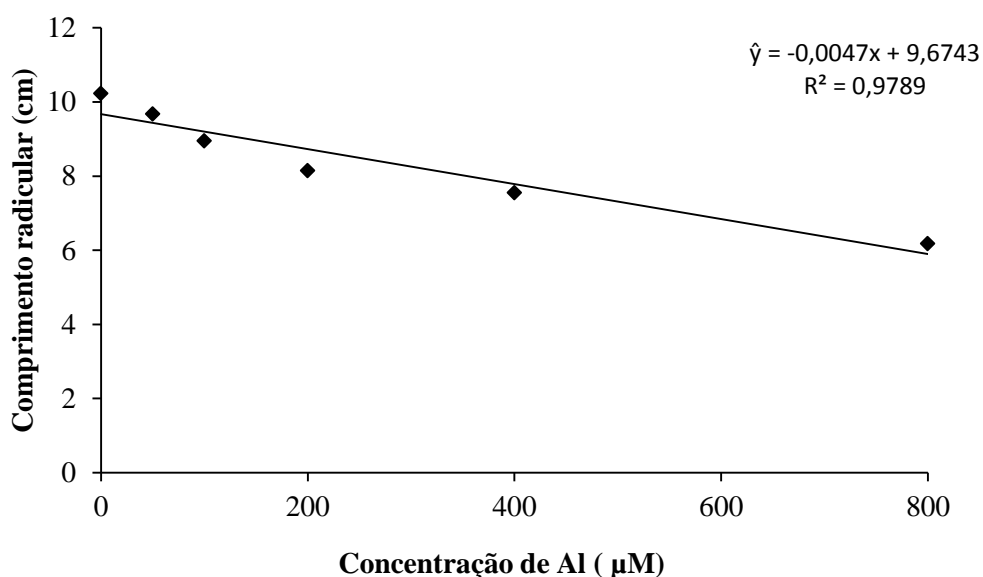
**Figura 22:** Comprimento das plântulas de Angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) mantidas em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio ao longo de 18 dias de cultivo.

A tabela 13 apresenta o resumo da análise de variância do comprimento radicular das plântulas na coleta avaliada apenas no décimo oitavo dia de cultivo em solução nutritiva simples, esta análise mostrou que ocorreu efeito significativo ( $P < 0,05$ ) das concentrações de alumínio no crescimento das raízes. O modelo de regressão linear foi o que melhor representou a distribuição dos dados, apresentando  $R^2$  0,9789 (Figura 23).

**Tabela 13:** Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada no décimo oitavo dia.

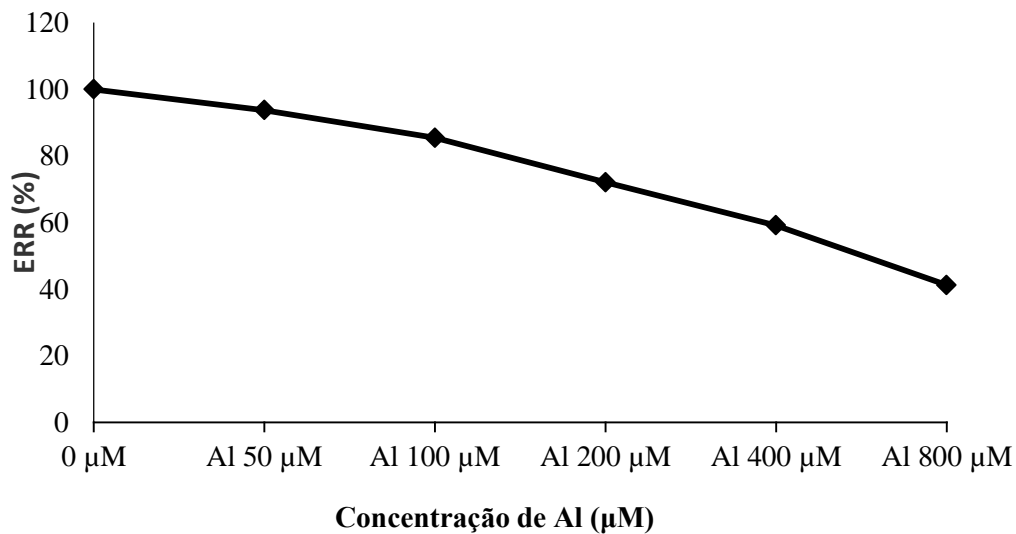
Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	8,7814	2,5318	*
Reg linear	1	42,9789	12,3913	*
Reg quadrada	1	0,62274	0,1804	ns
Resíduo	18			
Total	23			

ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 22,03



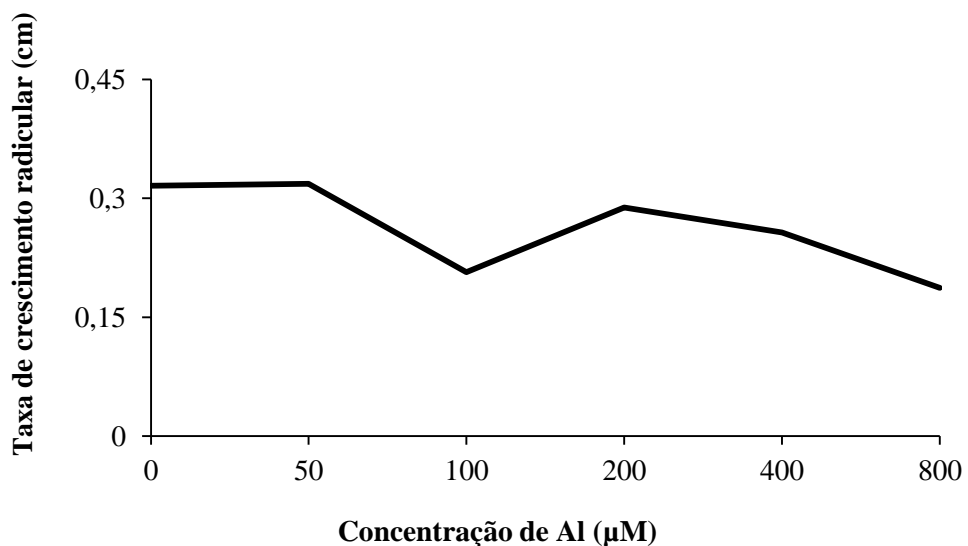
**Figura 23:** Comprimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) no décimo oitavo dia submetidas a diferentes concentrações de Al, em solução nutritiva completa.

As taxas de alongação radicular relativa (figura 24) demonstram diminuição de crescimento em todos os tratamentos contendo alumínio. O tratamento apresentando a maior concentração (800 µM Al) apresentou uma redução de 58,75%.



**Figura 24:** Elongação radicular relativa (ERR%) das plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) após 18 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.

Na avaliação do efeito dos dias de cultivo sobre as taxas de crescimento radicular, a maior taxa, igual a 1,56 cm/dia foi o tratamento controle (0 µM de Al) com 2 dias na solução nutritiva completa. A taxa de crescimento radicular está representada na figura 25, o tratamento controle (0 µM de Al) apresentou a maior taxa de crescimento radicular ao final de 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa, a maior dose, 800 µM de Al, foi o tratamento que apresentou menor taxa de crescimento radicular.



**Figura 25:** Taxa de crescimento radicular (TCR) das plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas por 18 dias em solução nutritiva completa com diferentes concentrações de alumínio.

De acordo a análise a análise de regressão, a tabela 14 apresenta o resumo da análise de variância da taxa de crescimento radicular das plântulas crescidas na solução completa, demonstrando que não houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) das diferentes concentrações no crescimento das raízes.

**Tabela 14:** Resumo da Análise de regressão da taxa de crescimento radicular de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan, crescidas em solução nutritiva simples com diferentes concentrações de alumínio na coleta realizada no décimo oitavo dia.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,06199	1,6512	ns
Reg linear	1	0,03195	4,2572	ns
Reg quadrada	1	0,00009	0,0121	ns
Resíduo	18			
Total	23			

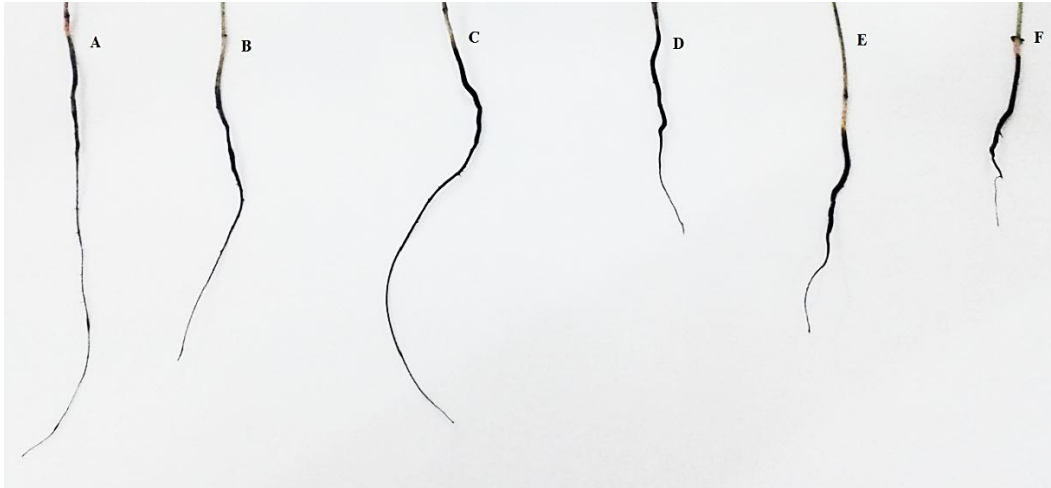
Ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 33,03

A figura 26 apresenta o aspecto visual das plântulas de angico aos 18 dias crescidas em solução nutritiva completa em diferentes concentrações de alumínio. Constatou-se que houve diferenças visuais nos diferentes Tratamentos, no tratamento controle (0  $\mu\text{M}$  Al), representado pela letra A, as raízes apresentaram ápice mais fino, à medida que houve aumento das concentrações de Al, ocorreu uma diminuição no tamanho das raízes e nas duas maiores concentrações (400 e 800  $\mu\text{M}$  Al) ocorreu um leve engrossamento dos ápices radiculares.



**Figura 26:** Raízes de plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa. A – sem alumínio, B – 50  $\mu\text{M}$ , C – 100  $\mu\text{M}$ , D - 200  $\mu\text{M}$ , E – 400  $\mu\text{M}$ , F 800  $\mu\text{M}$  de alumínio.

Quando foi realizado o teste com o corante hematoxilina, figura 27, a intensidade da cor foi afetada pela presença do alumínio. As maiores notas encontradas foram nas maiores concentrações, quando crescidas em solução completa. Entretanto não tenham ocorrido diferenças em relação a cor nas concentrações 100, 200, 400 e 800  $\mu\text{M}$  de Al. Quando foi utilizado o corante PCV as raízes não ficaram coloridas.



**Figura 27:** Raízes de plântulas de angico vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) nas diferentes concentrações após 18 dias de cultivo em solução nutritiva completa coradas com hematoxilina (A – sem alumínio, B – 50  $\mu\text{M}$ , C – 100  $\mu\text{M}$ , D - 200  $\mu\text{M}$ , E – 400  $\mu\text{M}$ , F 800  $\mu\text{M}$  de alumínio)

#### 4.6 Experimento 6– Crescimento de plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) em solo Latossolo Vermelho Amarelo.

O experimento 6 foi encerrado aos 29 dias após a semeadura devido ao início da queda das folhas. Em todos os tratamentos houve queda, porém, o tratamento com 4 (1000Kg  $\text{ha}^{-1}$  de calcário) foi o que apresentou menor queda (Figura 28). Já o tratamento testemunha foi onde ocorreu a maior incidência de queda de folhas (Figura 29).



**Figura 28:** Plântulas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crecidas em Latossolo vermelho amarelo, 29 dias após semeadura com 1000 Kg  $\text{ha}^{-1}$  de calcário.

A análise de variância do comprimento radicular, comprimento da parte aérea e do peso da massa seco da raiz demonstrou que não houve diferenças significativas do efeito da calagem em nenhum dos parâmetros analisados quando submetidos ao teste F. Quando comparadas as médias pelo teste de Tukey 5%, o comprimento e o peso seco da raiz não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. O tamanho de parte aérea,

tratamento 1 - testemunha (zero absoluto) diferiu apenas do tratamento 2 – (sem calagem, mas com todos os nutrientes), sendo estatisticamente igual aos demais tratamentos com adição de calcário (tabela 15). Os dados de comprimento da parte aérea não apresentaram distribuição normal, sendo necessário realizar a transformação dos dados ( $\sqrt{x}$ ).

**Tabela 15.** Efeito do calcário na massa seca da raiz, comprimento da raiz e comprimento da parte aérea de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas em Latossolo Vermelho Amarelo.

Doses de Calcário (Kg ha <sup>-1</sup> )	Massa seca da raiz (mg planta <sup>-1</sup> )	Comprimento da raiz (cm)	Comprimento da parte aérea (cm)
<b>0 absoluto</b>	0,0101 a	15,2875 a	2,5403 b
<b>0</b>	0,0104 a	12,3750 a	3,3765 a
<b>500</b>	0,0079 a	16,0000 a	2,8552 ab
<b>1000</b>	0,1100 a	15,3750 a	2,9356 ab
<b>2000</b>	0,1000 a	14,9250 a	2,7861 ab
<b>4000</b>	0,0115 a	14, 6375 a	2,7554 ab
CV%	18,23	18,42	12,52

As médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Obs: Zero absoluto sem adição de nenhum nutriente, Zero – com adição de NPK + Micro e sem calagem.

Utilizando a análise de variância da regressão em todos os parâmetros testados, não foi encontrado nenhuma correlação entre as doses de calagem e comprimento de parte aérea, comprimento de raiz e massa seca de raiz, e nenhuma equação se ajustou de forma significativa no intervalo proposto (Tabelas 16, 17 e 18)

**Tabela 16.** Resumo da Análise de regressão do comprimento de parte aérea de plântulas de Angico vermelho *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas em Latossolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	13,28	2,41	ns
Reg linear	1	1,91	0,35	ns
Reg quadratica	1	22,61	2,36	ns
Residuo	18			
Total	23			

ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 27,88

**Tabela 17.** Resumo da Análise de regressão do comprimento radicular de plântulas de Angico vermelho *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas em Latossolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	6,34	0,86	ns
Reg linear	1	0,81	0,11	ns
Regquadratica	1	0,48	0,65	ns
Residuo	18			
Total	23			

ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 18,42

**Tabela 18.** Resumo da Análise de regressão da massa seca da raiz de plântulas de Angico vermelho *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan crescidas em Argissolo vermelho amarelo com diferentes doses de calagem.

Fonte de variação	GL	QM	F	
Conc. De Alumínio	5	0,00	1,82	ns
Reg linear	1	0,00	1,32	ns
Regquadratica	1	0,00	01,09	ns
Residuo	18			
Total	23			

ns não significativo em nível de 5%. CV (%) = 18,23

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Al x Germinação

O processo de germinação das sementes é o primeiro estágio de desenvolvimento vegetal, as condições ambientais tais como, umidade, substrato, presença de alumínio e pH do solo, podem influenciar o processo de germinação e estabelecimento de comunidades vegetais. O Al presente em solos com baixo pH, pode interferir negativamente no processo germinativo (KOSZO, et al, 2006).

Koszo te al (2006) identificaram em qual etapa do processo de germinação o Al pode afetar mais: eles citam que o processo de germinação é dividido em três fases: Fase I – período inicial de embebição, hidratação das paredes celulares e coloides citoplasmáticos; Fase II – Não ocorre absorção de água pois as células não podem mais expandir, sendo ativados os processos metabólicos para crescimento do embrião; Fase III – a semente volta a absorver água e simultaneamente ocorre a protusão radicular. Seria na Fase I onde o alumínio pode ser absorvido pela semente junto com a água.

Os resultados obtidos no experimento 1 demonstraram que nas condições testadas, o alumínio não influenciou a germinação de sementes de *A. macrocarpa*, pois o tratamento controle (0  $\mu$ M de Al) não diferiu dos demais tratamentos contendo alumínio. Koszo et al (2006) trabalhando com *Erytrina speciosa* Andr., verificaram que o alumínio não influenciou a germinação desta espécie, o mesmo resultado foi encontrado em soja por Custódio et al (2002) e em café arábica por Macedo e Lopes (2008) onde as diferentes concentrações de alumínio não influenciaram a germinação. Milane et al (2014) demonstraram não haver diferença na germinação de sementes de milho quando foi aplicado diferentes doses de alumínio. Já Yamashita e Guimarães (2011) trabalhando com duas espécies de *Conyza*, constataram que a



germinação dessas duas espécies foi reduzida pela presença de alumínio, havendo decréscimos significativos a partir de  $1,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$  para as sementes de ambas as espécies. Brassard et al (2008) ressaltam que os efeitos do alumínio na germinação variam de espécie para espécie.

As maiores concentrações (400 e 800  $\mu\text{M}$  de Al) apresentaram a maior porcentagem de plântulas anormais, porém não diferiram estatisticamente dos demais tratamentos; resultado semelhante ao encontrado por Koszo et al (2006) ao testar o efeito do alumínio em sementes de *Cucumis*: os tratamentos contendo alumínio apresentaram maior porcentagem de plântulas anormais. O alumínio causa danos fisiológicos e morfológicos às plantas (KOCHIAN, 1995), atuando indiretamente em processos metabólicos associados com a divisão celular e ainda interfere na replicação do DNA (McQUATTIE, e SCHIER, 1990).

Neste trabalho a adição de pequenas doses de alumínio na solução de crescimento das plântulas aumentou de forma estatisticamente significativa o comprimento das raízes e parte aérea das plântulas. O nível crítico de toxidez para o comprimento radicular foi de 307,80  $\mu\text{M}$  Al. Quando se trabalha com alumínio a ideia central é verificar em qual nível de alumínio a planta paralisa o seu crescimento. Entretanto, vários fatores podem ser associados a este nível de tolerância, como raízes mais grossas, rústicas que cresceram com impedância mecânica, geralmente, são mais tolerantes ao alumínio (Horst et al., 1990). Essa informação também já foi observada por outros autores (MACEDO & LOPES, 2008; SZYMANSKA & IMOLA, 1996) e concentração iônica da solução (JACOB-NETO, 1993; ROSSIELLO & JACOB-NETO, 2006).

## 5.2. Al x Solução Nutritiva x Plântulas.

O alumínio interfere primeiramente na raiz principal, causando aumento na rigidez da parede celular e interfere na replicação do DNA (ROUT et al, 2001), a rápida resposta da raiz ao alumínio indica que num primeiro momento que esse elemento inibe o crescimento e desenvolvimento das raízes (MATSUMOTO et al. 2000). O sítio da toxicidade do Al está localizado no ápice da raiz, facilita que o crescimento radicular seja inibido. Por este motivo, na maioria das pesquisas com alumínio, o comprimento radicular é usado como parâmetro principal de análise de toxicidade (SIVAGURU et al., 1998).

Os resultados encontrados no presente trabalho confirmaram que as soluções nutritivas simples e completas, de baixa força iônica, podem ser utilizadas para estudar fitotoxicidade de alumínio em plântulas de espécies florestais. Existe uma correlação entre a tolerância genética das plântulas e a sua fase adulta, como ocorre em espécies anuais (GARLAND-CAMPELL & CARTER, 1990), o que facilita a seleção de plantas tolerantes ao alumínio. Em plantas de ciclos mais longos como as florestais, essa correlação ainda não foi testada. A seleção de plantas tolerantes ao alumínio pode ser mais complicada em plantas arbóreas de ciclo mais longo, diante do complexo sistema reprodutor que estas espécies podem ter, como a do Angico aqui estudado, onde flores diferentes de uma mesma árvore podem ser fecundas por diferentes pais. No presente trabalho foi selecionada uma planta mãe, portanto com indicação de 50% do seu material genético. Os métodos aqui adotados são simples, rápido (5 a 18 dias) e barato, podendo ser usados para selecionar plantas (SOUZA, 2001). Se for uma espécie autógama de baixa fecundação cruzada, a seleção de material genotípico mais tolerante poderia auxiliar no estabelecimento destas plantas em ambiente ácidas.

As soluções simples que contém apenas cálcio em baixa concentração (0,1 mM), tem a intenção de permitir a expressão do efeito de alumínio pelo sistema radicular, sem que a deficiência de Ca interfira no processo metabólico celular (KINRAIDE et al., 1985). De modo geral, o uso de soluções simples de Al facilita a máxima expressão dos efeitos de toxidez, devido à baixa capacidade de complexação e associação com outros elementos químicos, normalmente encontrados em soluções completas de maior força iônica

(ROSSIELO & JACOB-NETO, 2006). Os resultados obtidos nos experimentos com solução nutritiva simples evidenciaram que ocorreu efeito do alumínio adicionado à solução nutritiva.

As raízes das plântulas de Angico vermelho crescendo em solução nutritiva simples não responderam de forma linear a adição de alumínio na solução quando avaliada pelo comprimento radicular isoladamente, porém nos parâmetros testados TCR e ERR% pode ser observado o efeito de toxidez de alumínio, embora o uso do parâmetro ERR% evidenciou mais o efeito fitotóxico. Entretanto, o tamanho e o tempo de crescimento das plântulas em areia, anteriormente à transferência para solução nutritiva, antes de terem contato com a solução, pode interagir no grau de toxidez. Diferenças de crescimento em areia lavada, sugeriu diferentes respostas ao grau de toxidez do alumínio. Portanto, isso sugere que no caso de se utilizar o parâmetro comprimento radicular para selecionar plantas tolerantes, ou níveis de toxidez ao alumínio, o pesquisador deve analisar cuidadosamente qual o tempo de crescimento antes da transferência das plântula. Este fato ficou evidenciado a partir dos dados comparativos dos experimentos (2, 3, 4 e 5).

No experimento em solução completa (experimento 6) os resultados do efeito do alumínio no crescimento das raízes ficaram mais evidentes, quando comparado aos experimentos em solução simples (experimentos 2, 3, 4 e 5). Em solução completa, as médias de comprimento radicular nos tratamentos com alumínio foram em geral menores quando comparadas ao tratamento sem alumínio. Pode ser observado que a partir da concentração 100  $\mu\text{M}$  de Al, houve efeito fitotóxico mais acentuado deste elemento, e a mesma tendência ocorreu para o parâmetro alongação da raiz. O nível crítico de toxidez de alumínio usando o comprimento radicular na solução completa foi de 2058  $\mu\text{M}$  de Al para Angico vermelho.

Vários autores relatam como primeiro sintoma da toxicidade por alumínio a diminuição do crescimento das raízes. Braccini et al. (2000), estudando tolerância de genótipos de cafeeiro ao Al verificaram que houve diminuição do comprimento radicular. Polese (2013) em estudo com *Delonix regia*, observou que para esta espécie a dose de Al que paralisaria o crescimento radicular seria de 75  $\mu\text{M}$  para plantas crescendo em solução nutritiva simples. Resultados semelhantes foram encontrados por Vasconcelos Filho (2014) em seus estudos realizados com *Anacardium othonianum* Rizz, espécie arbórea encontrada no cerrado brasileiro, 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. De acordo com Vasconcelos et al. (2002) em estudo utilizando a ERR% para a avaliação da toxicidade de Al em cultivares de arroz, relataram que este parâmetro foi suficiente para identificação de diferenças de tolerância entre as cultivares estudadas. A toxicidade do Al manifesta-se pela redução da taxa de ERR%, mesmo após uma breve exposição das raízes a este elemento (RYAN et al. 1993), como ocorreu aqui nas duas espécies testadas. Rodrigues et al (2016) em estudo com cagaiteira (*Stenocalyx dysentericus* (DC.) O. Berg) em solução nutritiva simples verificaram que ocorreu o maior crescimento radicular nos tratamentos com Al de 150, 300 e 600  $\mu\text{M}$ , relataram o crescimento foi estimulado até a dose de Al 600  $\mu\text{M}$  utilizando o parâmetro ERR%.

Neste experimento em solução completa as plântulas foram para solução com 4 dias após a semeadura, portanto plântulas jovens. Comparando os resultados dos parâmetros morfológicos avaliados dos experimentos em solução simples com a da solução completa, ficou evidente que as respostas às dosagens de alumínio foram mais evidentes na solução completa, sugerindo utilizar esta solução. Entretanto, vale ressaltar que estas plântulas foram mais jovens para a solução nutritiva, podendo isso ter influenciado. As diferenças de resultados nos parâmetros avaliados para testar toxidez de alumínio no Angico vermelho nas soluções simples e completa, talvez, possam estar associados ao comprimento inicial das

raízes, devido as mesmas terem ficado mais tempo na areia, no momento da transferência para a solução nutritiva simples.

No momento do transplante para a solução simples, as raízes das plântulas de Angico, além de desiguais em tamanho eram maiores e mais grossas que as usadas no momento do transplante para a solução completa. Esta observação deve ser feita porque outros autores citam que a impedância mecânica, pode diminuir os sintomas de toxidez de alumínio (HORST et al., 1990). Desta forma, para comparação de fitotoxicidade entre raízes as mesmas deveriam ser transplantadas o mais cedo possível, logo que possam ser fixadas na solução.

### 5. 3. Al x Solo x Calagem.

O solo utilizado no experimento 6, foi um solo ácido, com pH de 3,5 e alto teor de alumínio trocável sendo neste trabalho avaliado o efeito da interação acidez x calagem sobre o crescimento inicial de angico vermelho (*A. macrocarpa*). Furtini Neto et al (1999a) afirmam que a saturação por alumínio é um fator ligado à acidez do solo, que mais limita o desenvolvimento das espécies, inibindo o crescimento e a aquisição e utilização de nutrientes pelas plantas. As espécies florestais nativas apresentam grande variabilidade de comportamento em relação à acidez do solo, saturação por bases e alumínio (FURTINI NETO et al., 2000).

Trabalhos tem recomendada para a cultura do eucalipto a dose de 300 g cova<sup>-1</sup> de calcário dolomítico quando em crescimento em Latossolo húmico, que resulta no equivalente a 64% de saturação por bases no solo. Valores superiores a esse causaram redução no crescimento e desequilíbrio nutricional, diminuindo os teores de N e de Mn e aumentando a relação Ca/Mg nas folhas. Hoje para a maioria das culturas arbóreas crescendo em solos ácidos (ROCHA et al., 2008). A aroeira respondeu a aplicação de calagem e P, K e micronutrientes quando crescida em um substrato de solo Latossolo Vermelho Amarelo, sendo a dosagem de 2164,64 Kg ha<sup>-1</sup> de calcário a dosagem onde foi obtido o maior comprimento radicular (MEZZAVILLA, 2016).

Os resultados demonstraram que a aplicação de calcário não influenciaram os parâmetros comprimento radicular e massa da raiz seca. Já para o parâmetro comprimento de parte aérea a maior média obtida foi no tratamento sem aplicação de calagem, mas com adubação de NPK e micronutrientes. Este tratamento só apresentou diferença estatisticamente significativa do tratamento que não recebeu nenhuma adubação, significando que as plântulas cresceram bem apenas com a adubação de NPK + Micro, sendo a calagem secundária neste caso.

O menor crescimento da parte aérea no tratamento sem aplicação de NPK e calagem (0 absoluto) já era esperado pois nutrientes desempenham diversas funções na planta, então sua omissão irá comprometer diversos processos metabólicos, o que implica em queda no crescimento e desenvolvimento das plantas (CRUZ et al, 2011)

De modo geral as espécies pioneiras e secundárias apresentaram as maiores respostas à calagem quanto à produção de matéria seca total (FURTINI NETO et al.,1999b). Espécies florestais de crescimento mais rápido, independentemente do seu grupo sucessional, apresentaram crescimento sensivelmente maior em função da correção da acidez do solo (FURTINI NETO et al.,1999a).

Machado (2015) verificou que adição de calcário influenciou positivamente o crescimento de plântulas de *Bauhinia variegata* L. Por outro lado, a calagem não influenciou o crescimento das espécies *Anadenanthera colubrina* (GOMES et al, 2004), e *Astronium fraxinifolium*, *Guazuma ulmifolia*, *Anadenanthera macrocarpa* e *Inga edulis*, (SILVA et al., 2011) estes estudos indicam que o uso de calcário é dispensável na fase inicial de crescimento dessas espécies. Para a espécie *Senna appendiculata* a calagem influenciou negativamente o crescimento dessa espécie, demonstrando que esta última tem preferência para solos ácidos (SAMPAIO, 2009).

Gonsalves et al (2012) realizaram estudos com *Anadenanthera macrocarpa* e afirmaram que em alguns casos não há resposta no crescimento quando aumenta-se o suprimento de nutrientes no solo pois a espécie tem baixo requerimento nutricional, concordando com os resultados aqui encontrados. Gomes et al (2004), trabalhando com *Anadenanthera colubrina*, constataram que a adição de misturas corretivas no substrato, não resultou em respostas positivas no parâmetro comprimento radicular, porém no parâmetro massa seca da raiz houve resposta significativa, ao contrário do encontrado neste trabalho, onde a calagem não alterou positivamente o parâmetro massa seca de raiz. Souza et al. (2004) encontraram diferentes respostas para o crescimento, em condições de viveiro, de duas espécies de leguminosas de ocorrência em cerrado: para *Dipteryx alata*, a aplicação de calcário propiciou efeito positivo no desenvolvimento das mudas, enquanto que para o *Hymenaea stigonocarpa* não foram observadas alterações no desenvolvimento em função da calagem.

De modo geral, a aplicação de calcário favorece o crescimento das plantas (VARGAS, 2013), porém esta tendência de crescimento não foi observada neste trabalho.

## 6. CONCLUSÕES

A adição de alumínio em papel germitest não influenciou a germinação, % plântulas anormais e mortalidade de semente.

A adição de alumínio em papel germitest aumentou o comprimento radicular.

O tempo de permanência no substrato de germinação, influenciou a resposta das plântulas ao alumínio, sendo mais recomendado a transferência para a solução nutritiva após 4 dias de crescimento na areia.

A adição de doses de alumínio acima de 100  $\mu\text{M}$ , diminuiu o comprimento radicular e a elongação radicular relativa, mas afetou pouco a taxa de crescimento radicular.

A calagem não influenciou o desenvolvimento das plântulas, mas a adubação com 50 Kg/ha de N + 100 Kg/ha  $\text{P}_2\text{O}_5$  + 60 Kg/ha  $\text{K}_2\text{O}$  + 30 Kg/ha FTE 12, influenciou.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. **Fast root growth responses, root exudates, and internal detoxification as clues to the mechanisms of aluminum toxicity and resistance: a review.** Environmental and Experimental Botany, Amsterdam, v. 48, n.1, p. 75-92, 2002.

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.

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. **Regras para análise de Sementes Florestais.** Brasília: SNDA; DNDDV; CLAV. P. 98, 2013.

BRASSARD, P.; KRAMER, J.R.; NOSKO, P.; KERSHAW, A. **Continuous flow rhisostat for the study of aluminum toxicity.** Plant Cell and Environment, v.11, p.863-873, 1988.

CAI, M. Z. et al. **Response and tolerance of root border cells to aluminum toxicity in soybean seedlings.** Journal of Inorganic Biochemistry, v. 105, n. 7, p. 966-971, 2011.

CAMPOS, L.J.M; PRATES, H.T; QUEIROZ, C.G.S; MAGALHÃE, J.V; PITTA, G. V E; SCHAFFER, R. P, ALVES, V M. C.: **Tolerância ao alumínio e exsudação de ácidos orgânicos em ápices radiculares de milho (*Zea mays* L.)**. IX Congresso brasileiro de fisiologia vegetal – 2003.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: EMBRAPA – CNPF; Brasília: EMBRAPA – SPI, 640p, 1994.

CASSOL, D. **Produção, acúmulo e exsudação de ácidos orgânicos em *stylosanthes*, sob toxidez de alumínio**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

COELHO, C. J. **Avaliação da tolerância ao alumínio através da solução mínima em diferentes germoplasma de milho**, Dissertação (Mestrado em Agricultura) - UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA, Ponta Grossa, 2011.

CRUZ C. A. F.; PAIVA H. N.; CUNHA A. C. M. C. M.; NEVES J. C. L. **Macronutrientes na produção de mudas de canafistula em Argissolo Vermelho Amarelo da região da Zona da Mata, MG**. *Ciência Florestal* v. 21, n. 3, p 445-457, 2011.

CUSTÓDIO, C.C.; BOMFIM, D.C.; SATURNINO, S.M.; MACHADO NETO, N.B. **Estresse por alumínio e por acidez em cultivares de soja**. *Scientia Agricola*, v.59, n.1, p.145-153, 2002.

DEGENHARDT, J.; LARSEN, P. B.; HOWELL, S. H.; KOCHIAN, L. V. **Aluminum resistance in the *Arapdopsis* mutant *alr-104* is caused by an aluminum-induced increase in rhizosphere pH**. *Plant Physiology*, v. 117, n. 1, p. 19-21, 1998.

DELHAIZE, E.; GRUBER, B.D.; RYAN, P.R. **The roles of organic anion permeases in aluminum resistance and mineral nutrition**. *Federation of European Biochemical Societies Letters*, v. 581. p. 2255-2262, 2007.

FLEMING, A. L.; FOY, C. D.; **Root structure reflects differential aluminum tolerance in wheat varieties**. *Agronomy Journal*, v. 60, p. 172-176, 1968.

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

FOY, C.D.; CHANEY, R.L.; WHITE, M.C. **The physiology of metal toxicity in plants**. **Annual Review Plant Physiology**, Palo Alto, v. 29, p. 511-566, 1978.

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

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. **Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda**. *Cerne*, Lavras/MG, v. 5, n. 2, p. 01-12, 1999 a.

FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V.; VALE, F. R.; SILVA, I. R. **Liming effects on growth of native woody species from Brazilian Savannah.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 34, n. 5, p. 829-837, mai. 1999b.

FURTINI NETO, A. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; MOREIRA, F. M. **Fertilização em reflorestamentos com espécies nativas.** In: GONÇALVES, J. L. M. & BENEDETTI, V. (Eds) Nutrição e Fertilização Florestal. Piracicaba: IPEF, p. 351-38, 2000.

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.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L. N.; BARROS, N. F.; SILVA, S. R. **Influência da saturação por bases e do fosforo no crescimento de mudas de angico-branco.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 785-792, 2004.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N. de. NEVES, J. C. L. GOMES, J. M. **Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca E Mg.** Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012.

GORDIN, C. R. B.; MARQUES R. F.; ROSA R. J. M.; SANTOS A. M.; SCALON S. P. Q. **Emergência de plântulas e crescimento inicial do pinhão manso exposto a alumínio.** Ciências Agrárias, v.34, n. 1, p. 147-156, 2013.

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

GUPPY, C.N.; MENZIES, N.W.; MOODY, P.W.; BLAMEY, F.P.C. **Competitive sorption reactions between phosphorus and organic matter in soil: a review.** Australian Journal of Soil Research, v. 43, p. 189-202, 2005.

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.

HARTWIG, I.; OLIVEIRA, A. C. DE.; CARVALHO, F.I.F.DE.; BERTAN, I.; SILVA, J.A.G. DA. **Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.

HOAGLAND D. and Arnon. **The water-culture method for growing plants without soil.** Berkeley, Calif. : University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station, 1950.

HOAGLAND, D. **The water-culture method for growing plants without soil** (Circular (California Agricultural Experiment Station), 347. ed.). Berkeley, Calif. : University of California, College of Agriculture, Agricultural Experiment Station. 1938.

HORST, W.J., KLOTZ, F. &SZULKIEWCZ, P. **Mechanical impedance increases aluminium tolerance of soybean (*Glycine max*) roots.** Plant and Soil 124, p. 227-231, 1990.

JACOB NETO, J. **The interations of H<sup>+</sup>/ OH<sup>-</sup> exchanges between roots and rhizosphere with plant nutricion and aluminium effects.**(Tese de Doutorado). Dundee, University of Dundee, 281p. 1993.

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. **Cellular mechanisms of aluminum toxicity and resistance in plants.** Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, Palo Alto, v. 46, p. 237-260, 1995.

KOCHIAN, L.V.; HOEKENGA, O.A.; PIÑEROS, M.A. **How do crop plants tolerate acid soils? Mechanisms of aluminum tolerance and phosphorous efficiency.** Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v.55, p.459-93, 2004.

KORN, M.; JORGE, R.A.; ARRUDA, P. **Aluminum induced organic acid exudation by roots of an aluminum tolerant tropical maize.** Phytochemistry, Oxford, v.45, n.4, p.675-681, 1997.

KOSZO, C.R.R. **Germinação de sementes de Andr. e Eugenia brasiliensis Lam. em meio ácido.** (Dissertação) Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.

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.

LI, X.F.; MA, J.F.; MATSUMOTO, H. **Pattern of aluminum-induced secretion of organic acids differs between rye and wheat.** Plant Physiology, Rockville, v.123, n.4, p.1537-1544, 2000.

LÓPEZ-BUCIO, J. L.; M. de la VEJA, O. M. de la; GUEVARA-GARCÍA, A.; HERRERA-ESTRELLA L. **Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate.** Natural Biotechnology, v. 18, p. 450-453, 2000.

LORENZI, H. **Árvores Brasileiras – manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 4ª ed. Ed. Instituto Plantarum, v. 1, p. 24, 2002.

MA, Z.; MIYASAKA, S. C. **Oxalate exudation by Taro in response to Al.** Plant Physiology. V. 118, n. 3, p. 861-865, 1988.

MACEDO, C. M. P.; LOPES, J. C. **Qualidade fisiológica de sementes de café arábica na presença de alumínio.** Revista Brasileira de sementes, v. 30, n. 1, p. 66-73, 2008.

MACEDO, S. T.; TEIXEIRA, P. C. **Calagem e adubação fosfatada para formação de mudas de araçá-boi,** Acta Amazonia, v. 42, p. 405-412, 2012.

MACEDO, S. T.; TEIXEIRA, P. C. **Calagem e adubação fosfatada para formação de mudas de araçá-boi,** Acta Amazonia, v. 42, p. 405-412, 2012

MACHADO, A. L.; **Toxidez do alumínio e eficiência de diferentes tipos de poda *Bauhinia variegata* L.**, Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2015.

MARIANO, I. C.; JORGE, R. A.; KELTJENS, W. G.; MENOSSI, M. **Metabolism and root exudation of organic acid anions under aluminium stress**, Brazilian Journal Plant Physiology, v.17, n. 1, p. 157-172, 2005.

MATSUMOTO, H. **Cell biology of aluminum toxicity and tolerance in higher plants**. International Review Cytology, San Diego, v.200, p.1-46, 2000.

McQUATTIE, C.J.; SCHIER, G.A. **Response of red spruce seedlings to aluminum toxicity in nutrient solution: alterations in root anatomy**. Canadian Journal of Forest Research, Ottawa, v.20, p.1001-1011, 1990.

MORIM, M.P. **Anadenanthera in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB18072>>.BFG. Growing knowledge: an overview of Seed Plant diversity in Brazil. Rodriguésia, v.66, n.4, p.1085-1113. 2015.

MOSSOR-PIETRASZEWSKA, T. **Effect of aluminium on plant growth and metabolism**. Acta Biochemical Polonica, v.48, p.673-686, 2001.

OLIVEIRA, S. S. C; ARAUJO NETO J. C.; CRUZ, S. J. S.; FERREIRA V. M. **Caracterização mormométricas de sementes e plântulas e germinação de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan**, Ciência Florestal, Santa Maria, 643-653, jul.-set. v. 22, n. 3, p., 2012.

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.

PELLET, D.M.; GRUNES, E.L.; KOCHIAN, L.V. **Organic acid exudation as an aluminum-tolerance mechanism in maize (*Zea mays* L.)**. Planta, New York, v.196, n.4, p.788- 795, 1995.

PIÑEROS, M.A.; MAGALHAES, J.V.; ALVES, V.M.C.; KOCHIAN, L.V. **The physiology and biophysics of an aluminum tolerance mechanism based on root citrate exudation in maize**. Plant Physiology, Rockville, v.129, n.3, p.1194-1206, 2002.

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

RACCINI, 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.



ROCHA, J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; SILVA, C. A.; CURI, N. **Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG)**. Scientia Forestalis, Piracicaba-SP, v. 36, n. 80, p. 255-263, 2008.

RODRIGUES, A. A., VASCONCELOS FILHO, S. C., RODRIGUES, D. A., RODRIGUES, C. L., SALES, J. F., & VITAL, R. G. **Influence of aluminum on root growth and of anatomy *Stenocalyx dysentericus* (DC.) O. Berg.**" African Journal of Biotechnology v.15.24 p.1193-1200, 2016.

ROSSIELLO, R.O.P.; JACOB NETO, J. **Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema**. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-418, 2006.

ROSSIELLO, R.O.P.; JACOB NETO, J. **Toxidez de alumínio em plantas: novos enfoques para um velho problema**. In: FERNANDES, M.S. (Ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 375-418, 2006.

RYAN, P.R.; DELHAIZE, E. **The convergent evolution of aluminium resistance in plants exploits a convenient currency**. Functional Plant Biology, v. 37, p. 275-284, 2010.

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.

SAMPAIO, L. C. **Efeito da adição de nitrogênio e cálcio no crescimento inicial de leguminosas arbóreas de restinga**. Mestrado (Dissertação). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2009.

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.

SCHMIDT, D.A.M.; VALÉRIO, I.P.; MAIA, L.C.; FONSECA, D.A.R.; REIS, C.E.S. **Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas**. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.28, n. 2, p. 219-228, 2007.

SILVA, A.H.; PEREIRA, J. S.; RODRIGUES, S.C. **Desenvolvimento inicial de espécies exóticas e nativas e necessidade de calagem em área degradada do Cerrado no triângulo mineiro (Minas Gerais, Brasil)**. Agronomía Colombiana, Bogotá, v.29, n.2, p. 287-292, 2011.

SILVA, J. B.C.; Novais, R. F.; SEDIYAMA, C. S. **Identificação de genótipos de sorgo tolerantes a toxicidade de alumínio**. Revista Brasileira de Ciência do Solo. v. 8, p. 77-83, 1984.

SILVA, L. M. B.; BARBOSA, D. C. A. **Crescimento e sobrevivência de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan (Leguminosae)**, em uma área de caatinga, Alagoinha, PE. Acta Botânica Brasileira, v. 14, n. 3, p. 251-261, 2000.

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

SILVEIRA, T. C. **Estrutura e diversidade genética do gênero *Anadenanthera* Speg. (Leguminosae - Mimosoideae) estimadas com marcadores microssatélites**, Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. - Viçosa, MG, 2014.

SIVAGURO, M.; HORST, W. J.; **The distal Part of the Transition Zone is the Most Aluminum-sensitive apical root zone of maize**, Plant Physiology, v.116, p. 155-163, 1998.

SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. CNPF, p. 256, 2012.

SOUZA, C. F.; RIBEIRO, W. C.; RAMOS, M. V. V. **Crescimento inicial de espécies nativas do cerrado em resposta à calagem**. In: 2º Seminário de Iniciação Científica da UEG, 2004, Anápolis, Anais..., Anápolis: UEG, 2004.

SOUZA, C. F.; RIBEIRO, W. C.; RAMOS, M. V. V. **Crescimento inicial de espécies nativas do cerrado em resposta à calagem**. In: 2º Seminário de Iniciação Científica da UEG, 2004, Anápolis, Anais..., Anápolis: UEG, 2004.

SOUZA, L. A. C. **Reações de genótipos de soja ao alumínio em hidroponia e no solo**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 36, n. 10, p. 1255-1260, 2001.

SPEHAR, C. R. **The genetics of aluminium tolerance in soya beans *Glycine max* (L.) Merrill**. Ph.D. Thesis. Cambridge, Inglaterra: University of Cambridge, 123 p, 1989.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. **The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L.** Folia Horticulturae, v.8, p.73- 83, 1996.

SZYMANSKA, M.; MOLAS, J. **The effect of aluminium on early development stages of *Cucumis sativus* L.** Folia Horticulturae, v.8, n.1, p.73-83, 1996.

TAYLOR, G.J. **The physiology of aluminum tolerance in higher plants**. Communication in Soil Science Plant Analysis, New York, v. 19, p. 1179-1194, 1988.

TECHIO, J. W. **Crescimento de milho em solução de alumínio e produção de ácidos orgânicos de baixo peso molecular**, Dissertação, Universidade de Passo Fundo, 2009

VASCONCELOS FILHO, S.C. **Toxidez do Alumínio em Caju-de-árvore-do-cerrado (*Anacardium Othonianum* Rizz.)**. 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.

VIERSTRA R., HAUG A., **The effect of aluminium on the physical properties of membrane lipids in *Thermoplasma acidophilum***, Biochem. Biophys. Res. Commun. n. 84, p. 138-143, 1978.

YAMASHITA, O.M.; GUIMARÃES, S.C. **Germinação de sementes de *Conyza canadensis* C. bonariensis em função da presença de alumínio no substrato**. Ciência Rural, v.41(4), p.599, 2011.

**YANG, Z. M.; SIVAGURU, M.; HORST, W. J.; MATSUMOTO, H. Aluminum tolerance is achieved by exudation of citric acid from roots of soybean (*Glycine max*). *Physiologia Plantarum*, Oxford, v.110, n.1, p.72-77, 2000.**

**ZHAO, Z.; MA, J.F.; SATO, K.; TAKEDA, K. Differential Al resistance and citrate secretion in barley (*Hordeum vulgare* L.). *Planta*, New York, v.217, n.5, p.794-800, 2003.**

**ZHENG, S. J.; MA, J. F.; MATSUMOTO, H. Continuous secretion of organic acids in related to aluminum resistance during relatively long-term exposure to aluminum stress. *Physiologia Plantarum*, Oxford, v.103, n.2, p.209-214, 1998.**