



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Curso de Engenharia Agrônoma



BRUNO ARANTES DE CARVALHO VISCONTI

**TOLERÂNCIA DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO
AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO**

ARARAS - 2013



Universidade Federal de São Carlos
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
Departamento de Recursos Naturais e Proteção
Ambiental – DRNPA



BRUNO ARANTES DE CARVALHO VISCONTI

TOLERÂNCIA DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO
AO ALUMÍNIO EM SOLUÇÃO

Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia Agrônômica – CCA – UFSCar para
a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Marcio Roberto Soares

ARARAS - 2013

Dedico este trabalho aos meus pais, Carlos e Christianne, e a minha namorada Renata por todo o apoio ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Márcio Roberto Soares por todo o ensinamento passado e pelo apoio e confiança na execução deste trabalho.

Agradeço aos técnicos do Laboratório de solos por terem ajudado no projeto e por disponibilizarem espaço para a coleta de dados.

Agradeço a toda a minha família, em especial ao meu pai Carlos, minha mãe Christianne, meu irmão Thiago, minha Vó Reamy, minha Vó Marília(in memorian) e meu Vô Chico pelo apoio e carinho com que sempre me recebem e me confortam. Agradeço também a todas minhas tias e tio pelos puxões de orelha e momentos de risadas.

Agradeço especialmente a minha namorada Renata, a pessoa que mais me apoia e me motiva no mundo, dando força para eu superar todos os obstáculos.

Agradeço a todos os moradores da República Guanxuma pelos grandes momentos que passamos juntos. Agradeço também a todos da República K-navial por terem aberto a porta de sua casa quando eu precisei.

Agradeço a todos da XVII turma pela união e companherismo ao longo destes 5 anos juntos.

Agradeço a todos os meus amigos, que de certa forma me apoiaram, e a todos que possam ter contribuído para a conclusão de mais esta etapa.

RESUMO

O bioma Cerrado ocupa cerca de 30% do território nacional. Seus solos possuem limitações para o desenvolvimento de culturas de interesse econômico, pois são naturalmente ácidos, com altos teores de alumínio (Al) e baixa disponibilidade de nutrientes. Entretanto, as espécies vegetais nativas tendem a não apresentar sensibilidade ao excesso de Al no solo, utilizando-se de mecanismos de exclusão ou de detoxificação interna. O objetivo fundamental deste estudo foi estudar a tolerância de mudas de cinco espécies nativas do Cerrado à doses crescentes de Al (0, 10, 30, 60 e 120 mg L⁻¹) em solução nutritiva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em delineamento com blocos casualizados, com esquema fatorial 5 x 5 e três réplicas. Foram utilizadas as seguintes espécies nativas: *Aegiphila sellowiana* (Pau tamanco), *Tabernaemontana hystrix* (Leiteiro), *Lafoensia pacari* (Dedaleiro), *Cordia ecalyculata* (Café-de-bugre) e *Cedrela fissilis* (Cedro-Rosa). As mudas foram transplantadas em vasos de Leonard, contendo solução nutritiva e diferentes concentrações de Al. Após 21 dias, resultados de biomassa da parte aérea e de raízes foram submetidos à análise de variância e comparados pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância. Não houve diferença significativa para a biomassa da parte aérea e das raízes das espécies estudadas com o aumento da concentração de Al em solução, provavelmente devido ao período de contato entre as mudas e o Al em solução ter sido insuficiente para o aparecimento dos efeitos do elemento. Entretanto, o fato de o desenvolvimento vegetal não ter sido afetado foi interpretado como indicativo de tolerância a este tipo de estresse abiótico, que normalmente não se observa em plantas cultivadas. Vasos de Leonard foram considerados aparatos experimentais adequados para estudos da influência do Al em solução sobre o desenvolvimento vegetal. Concluiu-se que as cinco espécies nativas foram tolerantes ao estresse abiótico causado pela exposição a soluções nutritivas contendo até 120 mg L⁻¹ de Al.

Palavras-chave: recuperação de áreas degradadas; solos ácidos; fitotoxidez por Al; ecossistemas naturais

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fitofisionomias do Domínio Cerrado.	13
Figura 2. Mudanças de <i>Cordia ecalyculata</i> (Café-de-bugre).	23
Figura 3. Mudanças de <i>Cedrela fissilis</i> (Cedro Rosa).	24
Figura 4. Mudanças de <i>Tabernaemontana hystrix</i> (Leiteiro).	24
Figura 5. Mudanças de <i>Aegiphila sellowiana</i> (Pau-tamanco).	25
Figura 6. Mudanças de <i>Lafoensia pacari</i> (Dedaleiro).	25
Figura 7. Construção dos vasos de Leonard (Sorreato, 2006): a) garrafa PET transparente de 3 L cortada ao meio; b) aplicação de tinta preta no exterior da garrafa PET; c) vaso de Leonard pintado; d) fixação do perfex no bocal da garrafa da PET.	26
Figura 8. Bancadas em casa de vegetação, com mudanças de espécies nativas do Cerrado submetidas ao Al em solução em vasos de Leonard.	27
Figura 9. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudanças de <i>Cordia ecalyculata</i> (café-de-bugre) submetidas a doses crescentes de Al em solução.	30
Figura 10. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudanças de <i>Cedrela fissilis</i> (cedro-rosa) submetidas a doses crescentes de Al em solução.	30
Figura 11. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudanças de <i>Tabernaemontana hystrix</i> (Leiteiro) submetidas a doses crescentes de Al em solução.	31
Figura 12. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudanças de <i>Lafoensia pacari</i> (Dedaleiro) submetidas a doses crescentes de Al em solução.	31
Figura 13. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudanças de <i>Aegiphila sellowiana</i> (Pau-tamanco) submetidas a doses crescentes de Al em solução.	32
Figura 14. Efeito de níveis crescentes de Al em solução sobre o desenvolvimento radicular de plântulas de <i>Vochysia pyramidalis</i> , durante o período de 107 dias; no detalhe, manutenção da integridade morfológica de ápices radiculares com o aumento da concentração de Al em solução.	34
Figura 15. Efeito de níveis crescentes de Al em solução sobre a área foliar de plântulas de <i>Vochysia pyramidalis</i> , durante o período de 107 dias; no detalhe, visível aumento de vigor e de área foliar com o aumento da concentração de Al em solução.	35
Figura 16. Efeito do Al em solução no crescimento da raiz principal de plântulas de <i>Sclerolobium paniculatum</i> , ao longo de 47 dias.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Áreas ocupadas pelas diferentes classes de uso da terra nos Estados cobertos pelo bioma Cerrado.	14
Tabela 2. Principais Ordens de solos de ocorrência no Domínio Cerrado.....	15
Tabela 3. Espécies vegetais nativas do Cerrado utilizadas no experimento.	23
Tabela 4. Composição química da solução nutritiva de Johnson et al. (1957), modificada (diluída a ½).	27
Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) de biomassa da raiz de espécies nativas do Cerrado submetidas à concentrações crescentes de Al em solução.	29
Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANOVA) de biomassa da parte aérea de espécies nativas do Cerrado submetidas à concentrações crescentes de Al em solução.	29

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	10
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1.	O BIOMA CERRADO	12
2.2.	SOLOS DO CERRADO	14
2.3.	FERTILIDADE DOS SOLOS DO CERRADO.....	16
2.4.	ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO E A TOLERÂNCIA AO AL FITOTÓXICO	17
3.	HIPÓTESES E OBJETIVOS	22
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
4.1.	ESPÉCIES VEGETAIS NATIVAS DO CERRADO	23
4.2.	VASOS DE LEONARD	25
4.3.	BIOMETRIA E FORMA DE INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	28
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.	CONCLUSÕES	37
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

1. INTRODUÇÃO

O Cerrado ocupa aproximadamente 1,8 milhões de quilômetros quadrados, cerca de 30% do território nacional, e abriga uma grande diversidade biológica (COUTINHO, 1990).

Por muito tempo, o Cerrado foi considerado área de solo pobre e infértil, onde havia apenas atividades como extração de lenha e pecuária extensiva. Porém, culturas de interesse econômico como milho, soja e algodão, avançaram sobre o Cerrado e estão levando a vegetação natural à degradação. Esse avanço da agricultura só foi possível devido às práticas de correção de solo, como a calagem e a gessagem (FERREIRA et al., 2006).

Os solos do Cerrado são naturalmente ácidos, com valores de pH que podem ser menores do que 4,0. Possuem elevados teores de alumínio trocável (Al^{3+}), cuja fitotoxidez é um fator limitante de grande importância à produção de grãos nas regiões do Brasil cobertas por vegetação de Cerrado (FAGERIA; GHEYI, 1999).

Entretanto, espécies nativas do Cerrado tendem a apresentar adaptações ao ambiente oligotrófico e com excesso de Al. As plantas nativas utilizam estratégias de exclusão ou de absorção/compartimentalização do elemento, sem nenhum efeito prejudicial para seu crescimento vegetativo, reprodução ou suas funções metabólicas (HARIDASAN, 1982; 1987).

Desde Goodland (1971), reconhece-se que a compreensão dos mecanismos que tornam as espécies nativas tolerantes ao Al seria útil para as ciências agrárias e ambientais. Existem ainda poucos estudos sobre a tolerância de espécies de ecossistemas naturais ao Al e o referencial teórico sobre os mecanismos adaptativos a vários estresses abióticos ainda é insuficiente e inconclusivo (FAGERIA, 2001).

É necessário compreender se o manejo agrônomo das áreas degradadas de Cerrado é adequado para sua recuperação ou se é preciso aprimorar o conhecimento da relação solo-planta nestes ecossistemas naturais. Além disso, o melhoramento genético de plantas cultivadas, no sentido de torná-las aptas a produzir em ambientes considerados restritivos, pode significar a ocupação mais

racional do Cerrado para fins agrícolas, sem a necessidade de ampliar a fronteira agrícola às custas do desmatamento e com a redução do uso de insumos, consolidando práticas sustentáveis e com compromisso ambiental.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. O BIOMA CERRADO

O Cerrado brasileiro é o segundo maior bioma do país, representando cerca de 20% do território nacional. Compreende uma área que abrange o planalto central brasileiro e áreas adjacentes nos Estados da Bahia, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Piauí, São Paulo e Tocantins, além do Distrito Federal (IBGE, 2004).

O Bioma concentra cerca de um terço da biodiversidade nacional e 5% da fauna e flora mundial. Estima-se que entre 4000 e 7000 espécies sejam típicas dessa região (SCARIOT, 2005).

Do ponto de vista fisionômico, o Cerrado apresenta o cerradão e o campo limpo como extremos, onde predominam os componentes arbóreo-arbustivo e herbáceo-subarbustivo, respectivamente. As demais fitofisionomias, como campo sujo, campo cerrado, cerrado sentido restrito (*sensu stricto*) (Figura 1), podem ser consideradas zonas de transição entre o cerradão e o campo limpo (COUTINHO, 2002).

O clima predominante no Cerrado é o tropical sazonal de inverno seco. O período seco dura cerca de cinco a seis meses, entre maio e setembro. A seca no Cerrado é atmosférica e afeta, portanto apenas as camadas superficiais do solo, sendo as camadas mais profundas abundantes em água (LIMA e SILVA, 2005).

Antes considerado terra improdutiva, recentemente o Cerrado vem sofrendo pressão do avanço da agricultura e da pecuária de alta tecnologia, que são consideradas atividades altamente impactantes (DURIGAN et al., 2013).

Sano et al. (2007) efetuaram um mapeamento do Cerrado com imagens obtidas em 2002 e constataram que 39,5% da área do bioma Cerrado foi devastada para dar lugar as atividades agropecuárias. Segundo mapeamento e estudos mais recentes realizados pelo Ministério do Meio Ambiente em parceria com o IBAMA constatou-se que o bioma Cerrado foi suprimido em 47,8%. No período entre 2009 e 2010, a taxa anual de desmatamento foi de 0,3%, considerada a maior dentre os biomas nacionais.

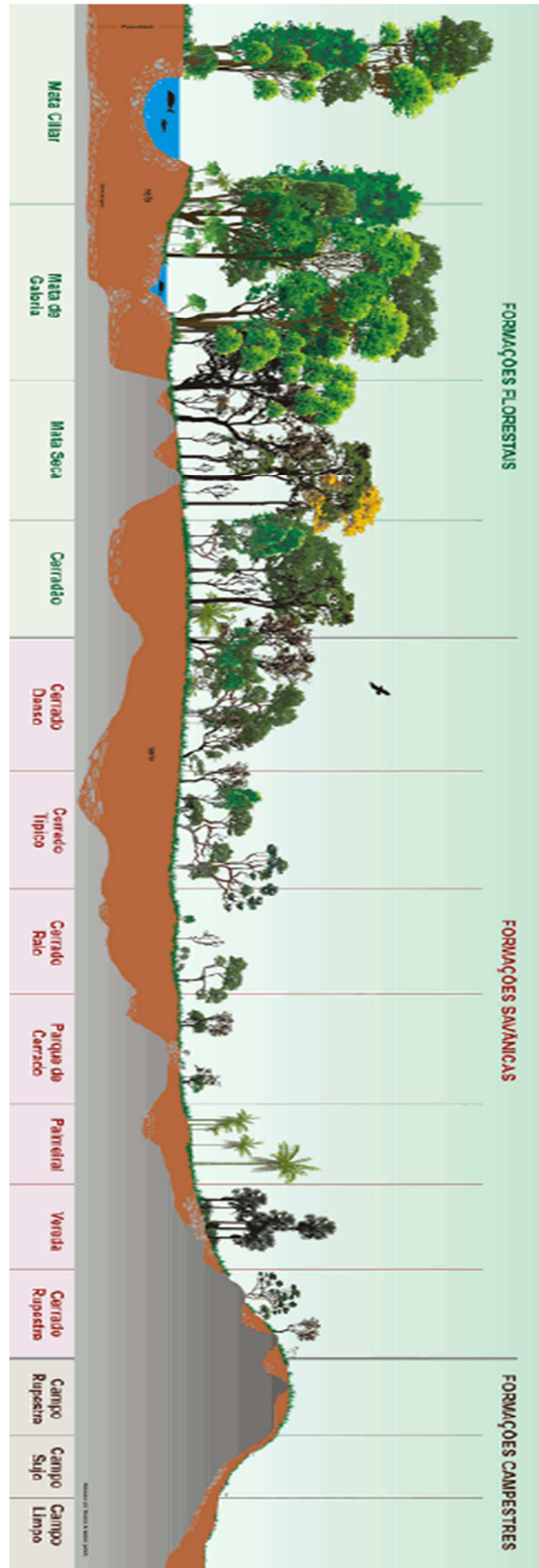


Figura 1. Fitofisionomias do Domínio Cerrado.
 Fonte: EMBRAPA Cerrados®

2.2. SOLOS DO CERRADO

Aproximadamente 80 milhões de hectares do Cerrado brasileiro são destinados a atividades agropastoris, sendo 54 milhões de hectares para pastagens e 21,5 milhões de hectares para agricultura (Tabela 1) (SANO et al., 2010).

Tabela 1. Áreas ocupadas pelas diferentes classes de uso da terra nos Estados cobertos pelo bioma Cerrado.

Estado	Cerrado ¹	Agricultura	Pastagem	Reflorestamento	Área urbana	Mineração	Total	Uso da terra
	%	ha						%
PI	37	215.265	521.731	1.379	20.933	0	759.307	8
MA	65	356.028	1.901.655	27.171	35.876	0	2.320.731	11
TO	91	175.565	4.253.134	376.645	36.350	2.406	4.844.100	19
BA	27	1.572.701	2.257.253	125.869	11.892	0	3.967.715	26
MT	40	5.561.053	6.508.944	31.974	64.268	3.289	12.169.529	34
MG	57	2.122.452	11.838.147	1.302.344	171.832	1.889	15.436.664	46
GO	97	5.037.522	12.931.552	50.514	182.089	0	18.201.676	55
DF	100	137.455	119.749	3.504	101.853	0	362.561	62
MS	61	2.712.019	10.948.449	1.017.755	61.630	73	14.739.925	68
PR	2	83.534	103.739	66.697	1.892	0	255.863	68
SP	33	3.585.977	2.622.416	533.236	200.445	213	6.942.286	85
Total		21.559.571	54.006.770	3.537.088	889.059	7.870	80.000.357	39

Fonte: SANO et al. (2008).

¹Porcentagem do Estado originalmente coberto pelo Bioma Cerrado.

Valente (2011) verificou que o desmatamento do Bioma na região de Aruanã-GO causou, além da perda imediata de biodiversidade (flora e fauna), grande impacto negativo nos recursos hídricos superficiais, com a “morte” de inúmeros córregos e lagos, que são temporariamente ativos somente durante a estação chuvosa.

Nas três últimas décadas, o Cerrado vem sendo degradado pelo avanço da fronteira agrícola brasileira e também, segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007) pela exploração predatória do carvão lenhoso, que, segundo o IBGE (2005) teve 34,5% do total de carvão vegetal produzido no Brasil oriundo de vegetação nativa do Cerrado. Entretanto, segundo mapeamentos realizados pela EMBRAPA Cerrados, o bioma mantém cerca de 60% de vegetação nativa, 13% de pastagens e 48% de cobertura vegetal remanescente.

A vegetação do Cerrado apresenta características adaptativas ao fogo. Porém, as queimadas realizadas pela ação humana ocorrem em épocas distintas das dos incêndios naturais. As queimadas provocadas concentram-se na época seca, de maio a setembro, enquanto as naturais podem ocorrer do fim da estação de seca até o fim da estação chuvosa (MIRANDA; SATO, 2005). Alguns trabalhos evidenciam aumentos nos teores de N, P, K, Ca e Mg mineralizados após a passagem do fogo. Como as plantas absorvem nutrientes mineralizados, é plausível que elas cresçam mais rapidamente em locais afetados por queimadas (KNICKER, 2007).

As espécies nativas do Cerrado apresentam estruturas subterrâneas bem desenvolvidas que possibilitam a rebrota após intervenções como corte fogo ou geadas. Áreas que foram submetidas a intenso revolvimento e a alterações químicas do solo perdem sua capacidade de regeneração devido à quebra das estruturas subterrâneas que garantiam a rebrota. Nessas áreas é recomendado o plantio de espécies nativas seguindo práticas silviculturais convencionais (DURIGAN et al., 2013).

De acordo com critérios agrônômicos, os solos do Cerrado são considerados de baixa fertilidade natural (HARIDASAN, 2000). Cerca de 80% dos solos do Cerrado são da Ordem dos Latossolos, Neossolos Quartzarênicos e Argissolos (Tabela 2).

Tabela 2. Principais Ordens de solos de ocorrência no Domínio Cerrado.

*Solos	Superfície do Cerrado	
	Km ²	%
Latossolos	935.870	46,0
Neossolos Quartzarênicos	309.715	15,2
Argissolos	307.677	15,1
Cambissolos e Neossolos Litólicos	203.760	10,0
Outros	280.578	13,7
Total	2.037.600	100,0

*Ordens de solos segundo Sistema Brasileiro de Classificação de Solo (Sibcs) (EMBRAPA, 2006).
Fonte: Soares et al. (2011).

2.3. FERTILIDADE DOS SOLOS DO CERRADO

Durante várias décadas, o avanço da fronteira agrícola no Cerrado foi tido como improvável, pelo desconhecimento de técnicas que contornassem limitações naturais, principalmente as relacionadas à alta acidez do solo (AZEVEDO, 1996; LOPES, 1999). Para Ribeiro et al. (2005), 62% dos solos do Cerrado apresentam limitações no que diz respeito à fertilidade. São solos com altos índices de acidez, alta saturação por Al (m%), toxidez iônica por Al, Fe, Mn e H, reduzida saturação por bases (V%), baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e baixa disponibilidade de fósforo (P). A falta de P em solos do Cerrado é considerado fator limitante para a produção de espécies anuais. Segundo Brady e Weir (2006), a indisponibilidade do P é ainda agravada pela alta acidez do solo, que favorece o surgimento de compostos insolúveis de P com os óxidos de Fe e Al. As deficiências de micronutrientes estão relacionadas a diversos fatores, como tipo de solo, excesso ou falta de calagem e o material de origem. Também podem aparecer deficiências devido à adsorção aos coloides ou lixiviação para uma região onde o sistema radicular da cultura não atinge (LOPES, 1999).

A acentuada deficiência de Ca, Mg e P e a elevada concentração de Al constituíam, inicialmente, a maior limitação para o cultivo de solos do Cerrado, sendo necessário o uso intensivo de corretivos e fertilizantes (FAGERIA, 2001).

Segundo Raij (1991) os solos do Cerrado possuem baixos teores de cátion básicos e com isso a maior parte da CTC do solo passa a ser ocupada por Al^{3+} e H^+ . A prática da calagem eleva o pH e a saturação por bases do solo, além de fornecer Ca e Mg para o solo.

A deficiência de Ca em solos do Cerrado não acontece apenas na camada arável. Ela pode aparecer em camadas subsuperficiais, associada ou não a altas concentrações por Al. O problema na camada arável é contornado com a aplicação de calcário, porém para camadas subsuperficiais há a necessidade de se fazer a prática da gessagem (SOUZA et al., 2005).

Souza et al. (2005) verificaram que em aproximadamente 70% da área agricultável do Cerrado, os valores de Al em subsuperfície foram superiores ao limite não prejudicial de 10%. Além disso, 86% da área agricultável também sofre com problemas com teores de cálcio abaixo de $4 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nas camadas

subsuperficiais, o que também é um fator limitante ao crescimento do sistema radicular das plantas.

A prática da gessagem se faz então necessária e, quando essa aplicação do gesso é feita após a correção do solo com o calcário, ocorre lixiviação de SO_4^{2-} e de Ca^{2+} para camadas subsuperficiais. Com o aumento dos teores de cálcio no subsolo há uma conseqüente diminuição nos teores de Al, o que propicia um ambiente adequado para um melhor crescimento radicular das culturas. A aplicação de gesso também melhora a absorção de água e nutrientes, desde os mais móveis como o nitrogênio, até os menos móveis, como o fósforo (SOUZA et al., 2005).

A evolução nos estudos relacionados a manejo de solos como calagem, gessagem, adubação e irrigação, bem como a topografia favorável, boas estradas e proximidade de centros consumidores, tornaram o Cerrado brasileiro a nova fronteira agrícola do país nas últimas duas décadas, sendo reconhecido hoje como umas das maiores regiões produtoras de grãos do país e a última fronteira agrícola do mundo (MAROUELLI, 2003).

2.4. ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO E A TOLERÂNCIA AO AL FITOTÓXICO

As espécies nativas do Cerrado tornaram-se adaptadas às condições adversas de escassez de nutrientes, aos altos teores de alumínio e a alta acidez do solo (Silva et al., 2007). Essa limitação nutricional do solo reflete na baixa concentração de nutrientes nas folhas de espécies do Cerrado, que são consideradas oligotróficas por sobreviverem nessas condições (HARIDASAN, 2000).

De acordo com Neto et al. (1999), as espécies adaptadas a diferentes ambientes possuem uma resposta à fertilidade do solo bastante diferentes, sejam esses ambientes formações abertas ou florestais do Cerrado. Porém, estudos realizados por Bruford (1993) e por Haridasan et al. (1997) indicaram resposta positiva das espécies do Cerrado à calagem e adubação.

Ambientes que apresentam pH baixo e alta concentração de Al afetam negativamente espécies sensíveis, acarretando em inibição do crescimento radicular, evoluindo para sintomas de desnutrição generalizados (VITORELLO et al, 2005).

Segundo Souza et al. (2013) algumas espécies podem adquirir tolerância ao Al devido a mecanismos específicos que as tornam adaptadas e, portanto, as respostas a esse estresse podem variar bastante, dependendo das condições ambientais e das características intrínsecas de cada espécie.

De acordo com Ferreira et al. (2006), os mecanismos fisiológicos de defesa ou de tolerância das plantas aos efeitos tóxicos do Al no crescimento da raiz são controlados por diferentes genes e por meio de diferentes rotas bioquímicas, incluindo: capacidade das plantas em alterar o ambiente rizosférico, elevando o pH e reduzindo a solubilidade do Al; capacidade das plantas de possuir baixa CTC na raiz e, portanto, maior afinidade por cátions monovalentes, de modo que acumulem, assim, menor concentração de Al em suas raízes (KENEDDY et al., 1986); capacidade das plantas de secretar mucilagem em presença de Al; capacidade das plantas de utilizar os nutrientes na presença de Al, principalmente P e Ca (FREITAS et al., 2006; MATTIELLO et al., 2008); capacidade das plantas de produzir elevados teores de ácidos orgânicos responsáveis pela complexação do Al (MARIANO et al., 2005); habilidade da raiz em continuar a divisão e o alongamento celular sob estresse; manutenção de áreas meristemáticas aptas a desenvolverem novos tecidos após o estresse (ROSSIELLO; JACOB-NETTO, 2006).

Segundo Tabaldi (2008), pode haver uma ampla variação genética com respeito à tolerância ao Al, indicando que muitas espécies nativas de solos ácidos ou cultivares tolerantes desenvolveram vários mecanismos de desintoxicação ao Al. A tolerância ao Al ocorre por dois mecanismos (Gonçalves et al., 2000): exclusão e tolerância interna. As espécies que utilizam o mecanismo de exclusão conseguem evitar que o Al atinja o simplasma, enquanto as espécies que utilizam o mecanismo da tolerância interna são capazes de manterem seu metabolismo em funcionamento mesmo com concentrações elevadas do íon no simplasma.

Os ácidos orgânicos formam complexos estáveis com o Al^{3+} presente na rizosfera, diminuindo sua toxidez às plantas (MA et al., 2001). Segundo Ramírez-Benitez et al. (2008), esta complexação diminui a atividade do Al^{3+} extracelular, limitando o contato do Al com a parede celular diminuindo, conseqüentemente, a sua concentração no simplasto. GONÇALVES et al. (2005) identificaram a presença dos ácidos málico e trans-aconítico em rizosfera de sorgo, enquanto Alves (2005) observaram complexo de Al com os ácidos málico e cítrico em rizosfera de arroz.

O contínuo processo de exsudação do malato promove a elevação de sua concentração na camada superficial do ápice radicular. Determinados níveis de malato quelatizam e desintoxicam uma fração significativa de Al na rizosfera em contato com o ápice radicular, prevenindo sua entrada na raiz. A exsudação contínua do ácido, juntamente com o crescimento das raízes no solo, mantém a quelatização como barreira sempre que as raízes se deparam com novas regiões ácidas no solo (HARTWIG et al., 2007).

Outro mecanismo bastante estudado é a detoxificação interna do Al, em que o elemento é transportado para folhas sem causar dano à planta, provavelmente pela sua compartimentalização nos vacúolos das células (KOCHIAN et al., 2004). Algumas espécies, denominadas hiperacumuladoras, conseguem acumular altas concentrações de Al nas folhas e nas raízes sem apresentar sinais de toxidez (MA et al., 2000). Folhas mais velhas de *Camellia sinensis* L. podem acumular até 30.000 mg kg⁻¹ de Al por peso seco, sem que haja influência no seu crescimento (MATSUMOTO et al., 1976). O transporte específico de Al tóxico para dentro das células foi evidenciado pela presença do gene *Nrat1* em arroz, auxiliando na tolerância ao Al (XIA et al., 2010). Muitas espécies comuns do Cerrado absorvem grandes quantidades e as acumulam em outros órgãos vegetais, além das folhas. *Palicourea rigida* Kunth (Rubiaceae), *Miconia albicans* (Sw.) Triana (Melastomataceae) e *Vochysia thyrsoidea* Mart. (Vochysiaceae) são espécies que podem acumular Al nas sementes (HARIDASAN, 2008).

O mecanismo de exclusão tem sido observado em espécies de interesse agrônômico, enquanto os mecanismos de tolerância interna ao Al são mais encontrados em espécies arbóreas nativas, devido a maior concentração do metal em seus tecidos (SILVA, 2013).

Nas plantas acumuladoras, a capacidade de absorção de nutrientes essenciais para o crescimento e reprodução não é prejudicada por altas concentrações de Al no solo. Silva (2013), avaliando a resposta fisiológica de *Qualea grandiflora* ao Al, espécie nativa de Cerrado, encontrou resultados que corroboraram a hipótese de Medeiros (1983), que sugeriu que o Al tem uma função importante no crescimento e desenvolvimento da planta. Em estudo realizado por Haridasan et al. (1997) foi constatado que a adição de calcário em solos ácidos também não resultou na diminuição da concentração de Al nas folhas de espécies nativas acumuladoras, como em *Miconia albicans* (Sw.) Triana.

As espécies nativas acumuladoras de Al vêm sendo estudadas do ponto de vista ecológico, principalmente devido a questões ainda não esclarecidas sobre as consequências e importância que possivelmente essas espécies desempenham em solos ácidos (WATANABE e OSAKI 2002). São conhecidas 45 famílias que apresentam espécies acumuladoras de Al, sendo que 32% destas espécies pertencem a família Rubiaceae (Jacob et al., 1991).

Estudos com Al em áreas de Cerrado (HARIDASAN, 2008; HARIDASAN 1987, HARIDASAN, 2008; HARIDASAN & ARAÚJO, 1988; KLINK & MACHADO, 2005; KLINK & MOREIRA, 2002; MAROUELLI, 2003; MEDEIROS, 1983; RIBEIRO, 1983; SOARES et al., 2011) deixaram evidente a importância dessa característica para plantas nativas, uma vez que muitas espécies nativas podem depender do Al para se desenvolver. Sendo assim, a compreensão da relação solo-planta quanto ao Al torna-se importante para programas de recuperação de áreas degradadas de Cerrado.

2.5. AVALIAÇÃO DA TOLERÂNCIA DE PLANTAS AO AL

Cambraia et al. (1991) verificaram que o comprimento da raiz mais longa foi o melhor parâmetro para discriminar a tolerância ao Al. Braccini et al. (2000), estudando linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao Al, puderam verificar que o elemento afetou o comprimento da raiz principal e o desenvolvimento das raízes laterais, que apresentaram engrossamento e amarelecimento das pontas.

A redução da taxa de crescimento radicular de plantas sensíveis tem sido considerado o principal efeito de níveis tóxicos de Al, que afeta o alongamento e a divisão celular. Essa restrição diminui a capacidade da planta para obter água e nutrientes do subsolo, em virtude do enraizamento superficial, tornando-a, portanto, menos produtiva e mais susceptível à seca (MACEDO et al., 2011).

Muitas são as técnicas utilizadas para identificar plantas tolerantes ao Al, baseadas principalmente em experimentos com soluções nutritivas ou com solos. Estes trabalhos se baseiam ou na inibição do crescimento radicular, ou na medição da acumulação de Al dentro das raízes ou na avaliação do acúmulo de biomassa (ANJOS, 2007).

Muitos estudos para avaliação de plantas tolerantes ao Al utilizam soluções nutritivas, pois há a possibilidade de controlar as condições de crescimento

das plantas, estudar o desenvolvimento do sistema radicular e comparar um número relativamente grande de genótipos em um pequeno espaço físico e em um curto período de tempo. Ademais, este método tem-se mostrado mais eficiente que os métodos tradicionais de campo (SCHAFFERT et al., 2010).

Na maioria dos casos, plântulas são condicionadas em um meio com baixo pH por vários dias e então transportadas para meios contendo Al. Convencionalmente, a tolerância ao Al é deduzida a partir da comparação do crescimento radicular na presença e na ausência de Al. O inconveniente desta comparação está no fato de que plantas que apresentam crescimento lento talvez apareçam como mais tolerantes do que realmente são, pois a porcentagem de redução no crescimento radicular (crescimento relativo) é menos importante que o crescimento radicular absoluto (ANJOS, 2007).

Experimentos desta natureza podem ser desenvolvidos em solução nutritiva com raízes nuas, quando há germinação de sementes, ou com mudas cultivadas em substrato, mergulhadas em solução nutritiva por um sistema denominado vaso de *Leonard*. Alguns autores aplicaram a técnica no estudo de colonização microbiológica de raízes com micro-organismos fixadores de N (Scheffer-Basso et al., 2001; Antunes et al., 2011; Ferreira et al., 2012), mas são praticamente ausentes os trabalhos com nutrição mineral de plantas que empregaram esta técnica.

3. HIPÓTESES E OBJETIVOS

Considerando a hipótese de que espécies vegetais nativas do Cerrado são adaptadas a condições de estresse abiótico provocado pelo alumínio (Al) fitotóxico, o objetivo geral deste estudo foi estudar a tolerância de mudas de cinco espécies nativas do Cerrado, de diferentes grupos de sucessão ecológica, à exposição ao Al em solução nutritiva, em experimento de casa de vegetação.

Os objetivos específicos foram:

- a) Medir o acúmulo de biomassa da parte aérea e das raízes no desenvolvimento inicial de espécies nativas de Cerrado submetidas à solução nutritiva com diferentes condições de estresse por Al;
- b) Testar a viabilidade do uso de vasos de *Leonard* para estudos com espécies nativas de ecossistemas naturais em casa de vegetação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. ESPÉCIES VEGETAIS NATIVAS DO CERRADO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar – CCA *Campus* Araras-SP). Foram utilizadas mudas de cinco espécies nativas do Cerrado, de dois grupos de sucessão ecológica (Tabela 3 e Figuras 2, 3, 4, 5 e 6).

Tabela 3. Espécies vegetais nativas do Cerrado utilizadas no experimento.

Nome científico	Nome comum	Categoria
<i>Aegiphila sellowiana</i>	Pau tamanco	Pioneira
<i>Tabernaemontana hystrix</i>	Leiteiro	Secundária
<i>Lafoensia pacari</i>	Dedaleiro	Secundária
<i>Cordia ecalyculata</i>	Café de Bugre	Secundária
<i>Cedrela fissilis</i>	Cedro Rosa	Secundária



Figura 2. Mudanças de *Cordia ecalyculata* (Café-de-bugre).



Figura 3. Mudras de *Cedrela fissilis* (Cedro Rosa).



Figura 4. Mudras de *Tabernaemontana hystrix* (Leitero).



Figura 5. Mudas de *Aegiphila sellowiana* (Pau-tamanco).



Figura 6. Mudas de *Lafoensia pacari* (Dedaleiro).

4.2. VASOS DE LEONARD

As mudas de espécies vegetais nativas do Cerrado foram transplantadas em vasos de *Leonard*, feitos a partir de garrafas PET de 3 L pintadas com tinta preta (Figura 7) (Sorreano, 2001). A parte inferior do vaso acondicionou solução nutritiva, e parte superior foi usada como suporte para a muda com substrato, com o bocal fechado com material permeável (perfex) para evitar a perda de substrato e permitir

a ascensão capilar da solução nutritiva (Figura 7). O volume no entorno da muda foi completado com areia média.



Figura 7. Construção dos vasos de Leonard (Sorreano, 2006): a) garrafa PET transparente de 3 L cortada ao meio; b) aplicação de tinta preta no exterior da garrafa PET; c) vaso de Leonard pintado; d) fixação do perfex no bocal da garrafa da PET.

Optou-se pelo uso da clássica solução de Johnson et al. (1957), cuja adaptação foi considerada adequada por Sorreano (2006) para estudos com espécies nativas do Cerrado (Tabela 4).

As mudas foram submetidas a doses crescentes de Al (0, 10, 30, 60 e 120 mg L⁻¹ ou 0, 370, 1111, 2222 e 4444 μmol L⁻¹), fornecido a partir de solução padrão de 2.500 mg L⁻¹ de Al, preparada com AlCl₃. 6H₂O. A faixa de concentração de Al foi semelhante à utilizada por Machado (1985) para estudar a hiperacumulação de Al por *Vochysia thyrsoidea* POHL, espécie vegetal típica do Cerrado.

Tabela 4. Composição química da solução nutritiva de Johnson et al. (1957), modificada (diluída a $\frac{1}{2}$).

Solução estoque	Volume de solução estoque (mL L ⁻¹)
KNO ₃ (M*)	3
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O *	2
NH ₄ H ₂ PO ₄ *	1
MgSO ₄ · 7H ₂ O *	0,5
Micro completo**	0,5
Fe-EDTA***	0,5

*Solução 1 molar

**A solução estoque de micronutrientes com a seguinte composição (g/L): 3,728 de KCl; 1,546 de H₃BO₃; 0,338 de MnSO₄·H₂O; 0,575 de ZnSO₄·7H₂O; 0,125 de CuSO₄·5H₂O; 0,081 de H₂MoO₄; 6,922 Fe-EDTA

***Fe-EDTA: 33,3g EDTA, 24,7g de FeSO₄·7H₂O e 89,9 mL de NaOH mol L⁻¹.

Inicialmente, as mudas foram transplantadas para os vasos de *Leonard* contendo solução nutritiva sem Al. Após uma semana de aclimação, as mudas foram submetidas à solução nutritiva acrescida de diferentes doses de Al. As parcelas experimentais (vasos de *Leonard*) foram dispostas sobre bancadas metálicas no interior de casa de vegetação equipada com controle de umidade relativa por nebulização (Figura 8).



Figura 8. Bancadas em casa de vegetação, com mudas de espécies nativas do Cerrado submetidas ao Al em solução em vasos de Leonard.

A solução foi trocada a cada 7 dias. Semanalmente, foram preparados 45 L de solução nutritiva adaptada de Johnson et al. (1957), com a seguinte composição:

- 135 mL de KNO_3 em solução 1 mol L^{-1}
- 90 mL de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ em solução 1 mol L^{-1}
- 45 mL de $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ em solução 1 mol L^{-1}
- 22,5 mL de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ em solução 1 mol L^{-1}
- 22,5 mL de solução de micronutrientes completo.
- 22,5 mL de solução Fe-EDTA.

Há pouca indicação em referências bibliográficas sobre o tempo necessário de imersão de raízes de espécies nativas em soluções contendo Al. Consideraram-se os trabalhos de Machado (1985) e de Andrade et al. (2007), que trabalharam com exposição das plantas hiperacumuladoras de Al durante 90 e 107 dias, respectivamente. Andrade et al. (2007) também testaram a exposição de *Sclerolobium paniculatum* ao Al em solução por 47 dias. Entretanto, neste trabalho, o período de exposição das mudas ao Al foi de 21 dias.

4.3. BIOMETRIA E FORMA DE INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Devido às condições controladas em ambiente de casa de vegetação, o experimento foi conduzido em delineamento com blocos casualizados, em que cada espécie foi considerada um bloco, com esquema fatorial 5×5 (5 espécies e 5 concentrações de Al em solução), com três réplicas. Os efeitos do estresse abiótico e a tolerância das espécies nativas foram avaliados pelos resultados da biomassa seca da parte aérea e do sistema radicular (48 horas em estufa de circulação forçada a 64°C), submetidos à análise de variância e posterior análise de comparação de médias pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, no programa estatístico ASSISTAT 7.7.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve alta significância estatística para a influência isolada do fator espécie sobre a variação dos resultados de biomassa da parte aérea e das raízes (Tabelas 5 e 6).

Tabela 5. Resumo da análise de variância (ANOVA) de biomassa da raiz de espécies nativas do Cerrado submetidas a concentrações crescentes de Al em solução.

Causas da Variação	GL	Valor F
Espécies	4	4,1095**
Doses de Al	4	1,2612 ns
Espécies x Doses de Al	16	0,8559 ns
Resíduo	50	
Total	74	

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

ns: não significativo ($p \geq .05$)

Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANOVA) de biomassa da parte aérea de espécies nativas do Cerrado submetidas a concentrações crescentes de Al em solução.

Causas da Variação	GL	Valor F
Doses de Al	4	4,1268**
Espécies	4	1,5695 ns
Doses de Al x Espécies	16	1,2452 ns
Resíduo	50	
Total	74	

* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)

ns: não significativo ($p \geq .05$)

O teste de comparação de médias (Tukey a 5%) foi aplicado para os resultados de biomassa da parte e das raízes de cada espécie (Figuras 9, 10, 11, 12 e 13). Para as cinco espécies estudadas, não houve diferença significativa para a biomassa da parte aérea e das raízes com o aumento da concentração de Al em solução.

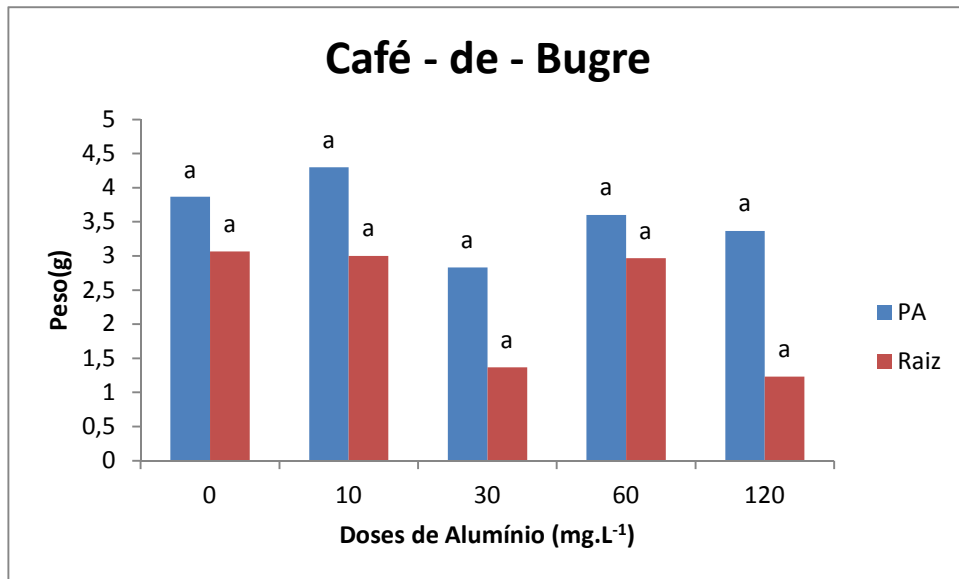


Figura 9. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudas de *Cordia ecalyculata* (café-de-bugre) submetidas a doses crescentes de Al em solução.

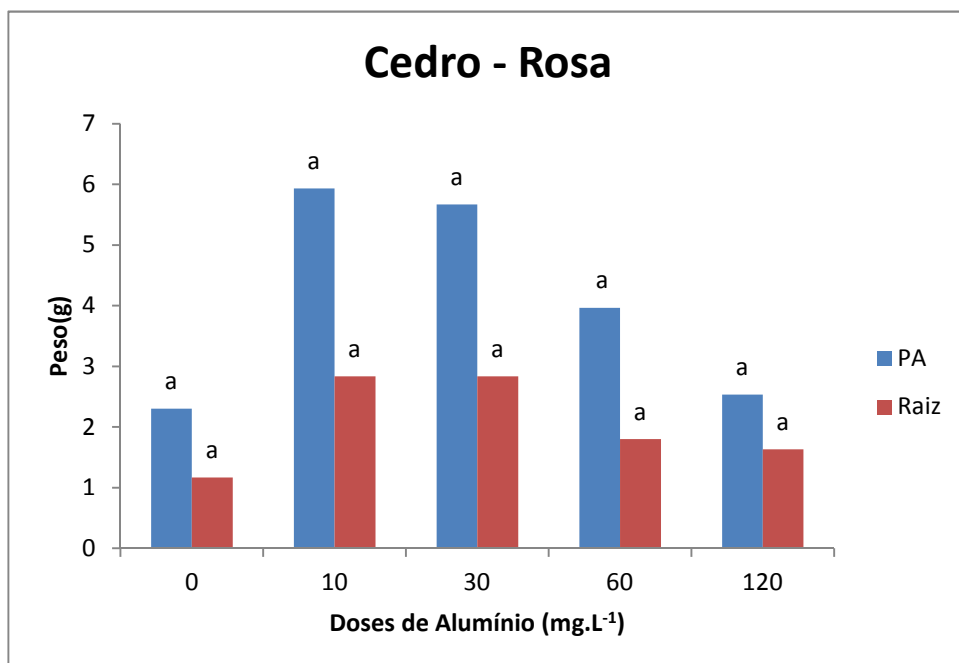


Figura 10. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudas de *Cedrela fissilis* (cedro-rosa) submetidas a doses crescentes de Al em solução.

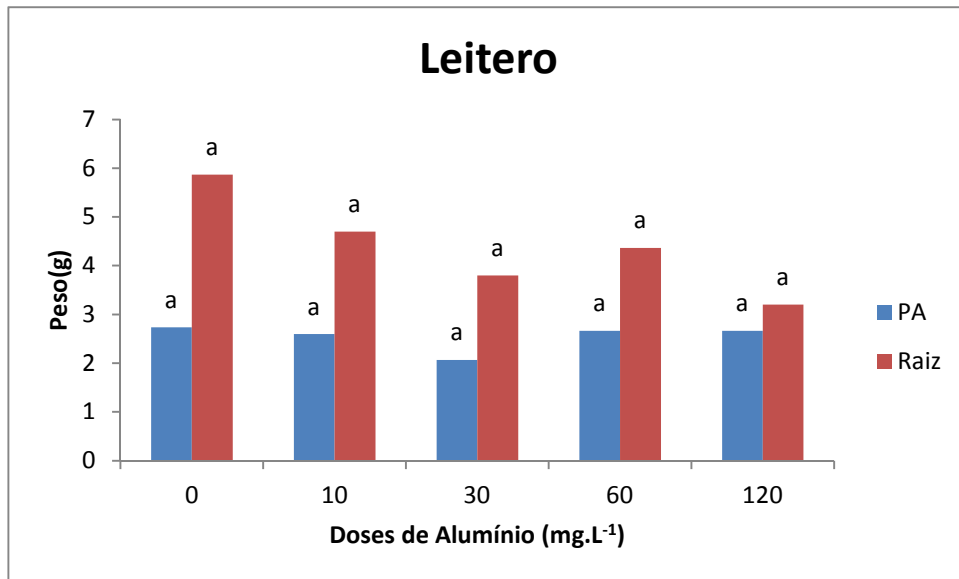


Figura 11. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudas de *Tabernaemontana hystrix* (Leiteiro) submetidas a doses crescentes de Al em solução.

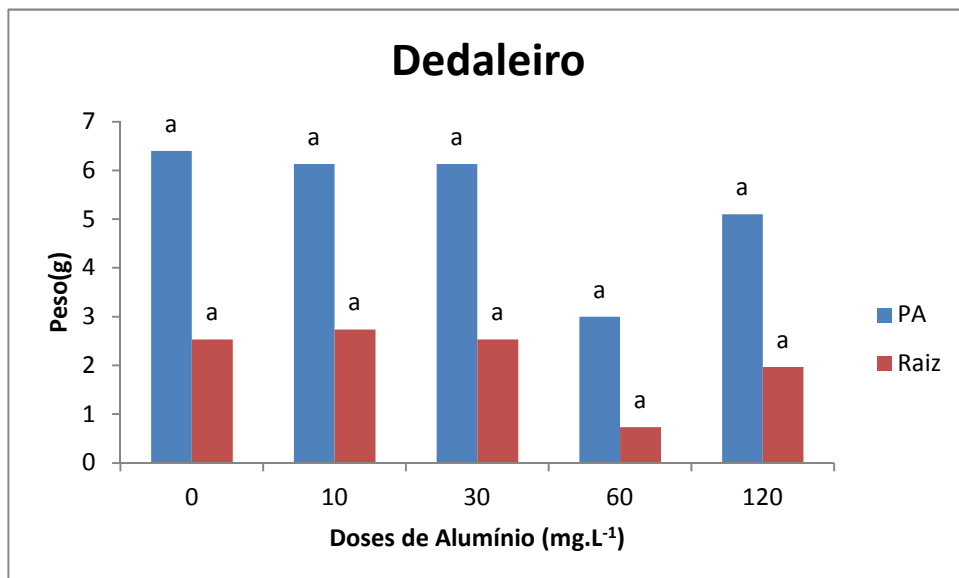


Figura 12. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudas de *Lakoensia pacari* (Dedaleiro) submetidas a doses crescentes de Al em solução.

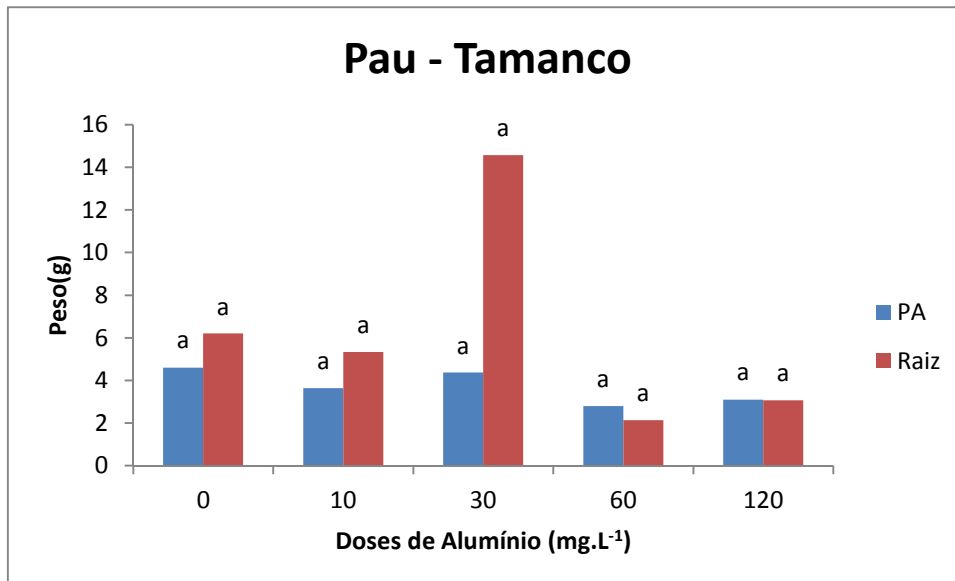


Figura 13. Biomassa da parte aérea (PA) e de raiz de mudas de *Aegiphila sellowiana* (Pau-tamanco) submetidas a doses crescentes de Al em solução.

Este resultado deveu-se, provavelmente, ao alto coeficiente de variação dos parâmetros biométricos avaliados (103% para biomassa da parte aérea e 50% para a biomassa radicular). Altos coeficientes de variação são comuns em experimentos com espécies nativas de ecossistemas naturais, devido à grande variabilidade genética intra-populacional. Oliveira et al. (2011ab) observaram coeficientes de variação superiores a 70% para a altura de cajuí (*Anacardium giganteum* W. Hancock ex Engl.) e de angelim-do-Cerrado (*Andira cuyabensis* Benth.), plantas típicas do Cerrado, em experimentos com variação da acidez e do suprimento de B pelo solo.

O período de contato entre as mudas das espécies nativas e a solução contendo o Al pode ter sido insuficiente para o aparecimento dos efeitos (prejudiciais ou benéficos) do elemento. Sabe-se dos efeitos tóxicos do Al no crescimento das plantas, interferindo em diversos processos bioquímicos e fisiológicos na planta (Marschner, 1995), em que o crescimento radicular é o principal indicador da sensibilidade das plantas à toxidez (Cabraia et al., 1991). Entretanto, algumas famílias de plantas, como Vochysiaceae e Melastomataceae, toleram altas concentrações de Al, podendo apresentar concentrações foliares acima de 1000 mg kg⁻¹ de Al (Haridasan, 2008). Espécies como *Miconia albicans* e *Vochysia thyoidea* acumulam Al em folhas e sementes e não se desenvolvem na ausência do Al

(Haridasan, 1982). No trabalho realizado por Silva (2012), foi percebida clara tendência da espécie *Qualea grandiflora* de se desenvolver melhor na presença de Al. Entretanto, a diferença entre os tratamentos tornou-se significativa apenas 90 dias após a permanência da espécie à exposição ao Al. Andrade et al. (2007) observaram efeito estimulatório do Al no desenvolvimento da parte aérea de plântulas de *Vochysia pyramidalis* até o nível de 50 μM de Al na solução. Machado (1986) desenvolveu experimento com solução nutritiva e verificou que plantas de *Vochysia pyramidalis* tiveram seu crescimento inibido na ausência de Al. Até 90 dias em solução nutritiva, as plantas crescidas com até 120 mg L^{-1} de Al não mostraram qualquer sintoma de toxidez nas folhas e nas raízes.

A ausência de efeitos estatisticamente significativos do Al sobre o crescimento inicial das cinco espécies nativas de Cerrado deste estudo (Figuras 9 a 13) pode ser considerado positivo para o desenvolvimento vegetal, pois o fato de o acúmulo de biomassa da parte aérea e das raízes não ter diminuído e de não ter sido registrado morte de plantas ao longo de 20 dias de experimento, é indicativo de tolerância a este tipo de estresse abiótico que normalmente não se observa em plantas cultivadas. Concentrações de 380, 111 e 37 $\mu\text{mol L}^{-1}$ de Al em solução foram suficientes para causar decréscimo na taxa de alongamento radicular de variedades de cana-de-açúcar (Malvestiti, 2011), milho (Lima, 2011) e soja (Coghi, 2012), respectivamente. Por outro lado, Braccini et al. (2000) demonstraram que o Al, em alguns casos, reduziu a produção de biomassa seca da parte aérea e das raízes de vários cultivares de café, mas em outros provocou aumento significativo nestes indicadores biométricos de alguns genótipos.

Os resultados deste estudo assemelharam-se aos obtidos por Andrade et al. (2007), que objetivaram estudar mecanismos de tolerância de Al em raízes de plântulas de *Vochysia pyramidalis*, uma espécie que acumula Al, e de *Sclerolobium paniculatum*, uma espécie que exclui o elemento, ambas nativas do Cerrado. Os autores observaram que não houve efeito negativo no desenvolvimento radicular (Figura 14) e que houve aumento estatisticamente significativo na área foliar das plântulas com o aumento de 0 a 150 μM de Al em solução, durante o período de 107 dias (Figura 15).

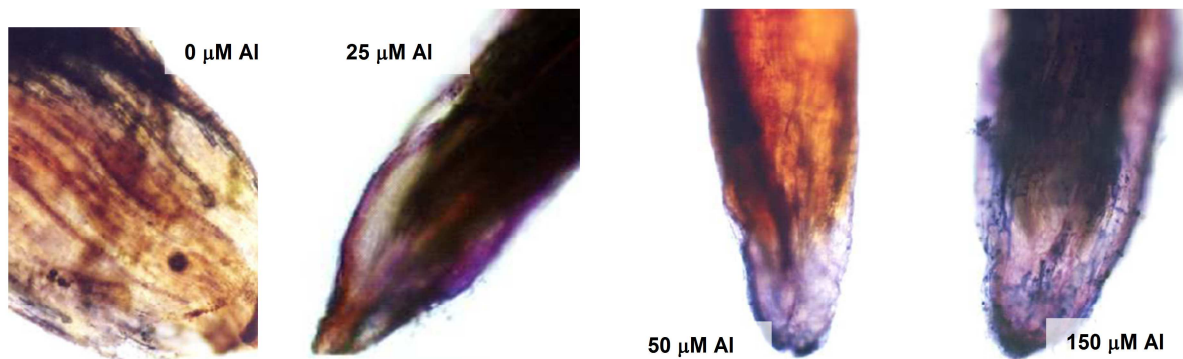
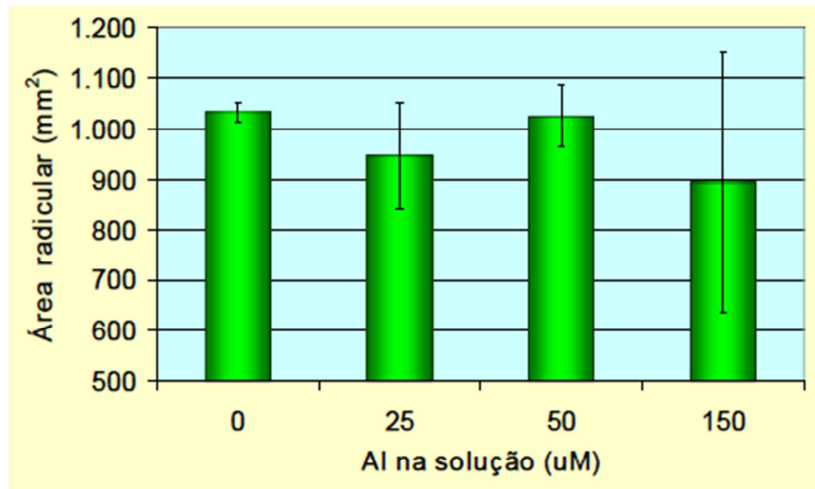


Figura 14. Efeito de níveis crescentes de Al em solução sobre o desenvolvimento radicular de plântulas de *Vochysia pyramidalis*, durante o período de 107 dias; no detalhe, manutenção da integridade morfológica de ápices radiculares com o aumento da concentração de Al em solução.

Fonte: Andrade et al. (2007).

Andrade et al. (2007) observaram ainda que plântulas de *Sclerobium paniculatum*, após a exposição em solução de 250 µM de Al, por 47 dias, também não demonstraram efeitos significativos no comprimento de suas raízes (Figura 15).

Entretanto, é preciso mencionar que Andrade et al. (2007) obtiveram seus resultados sob condições de imersão de raízes nuas de plântulas de *Vochysia pyramidalis* e de *Sclerobium paniculatum* em solução nutritiva contendo doses crescentes de Al que variaram de 0 a 150 µM de Al. Neste estudo, ainda que as mudas das espécies nativas do Cerrado foram mantidas em seu substrato original, houve exposição à solução nutritiva em vaso de Leonard contendo doses crescentes de Al que variaram de 0 a 4444 µM de Al em solução.

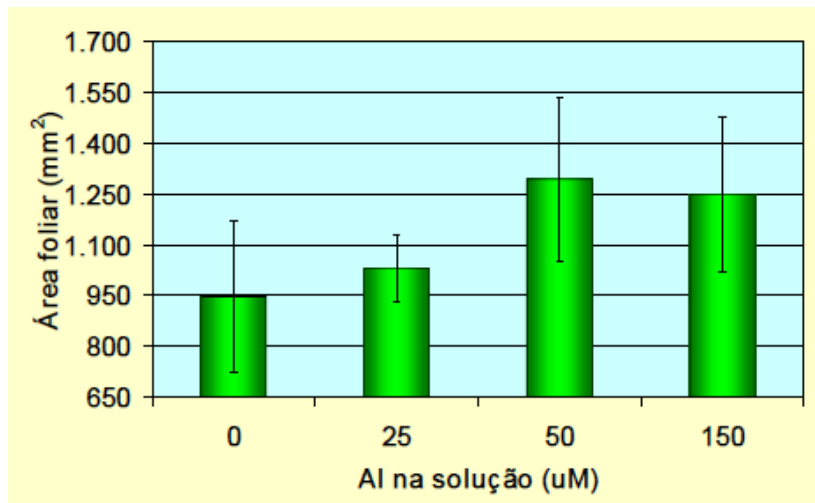


Figura 15. Efeito de níveis crescentes de Al em solução sobre a área foliar de plântulas de *Vochysia pyramidalis*, durante o período de 107 dias; no detalhe, visível aumento de vigor e de área foliar com o aumento da concentração de Al em solução.

Fonte: Andrade et al. (2007).

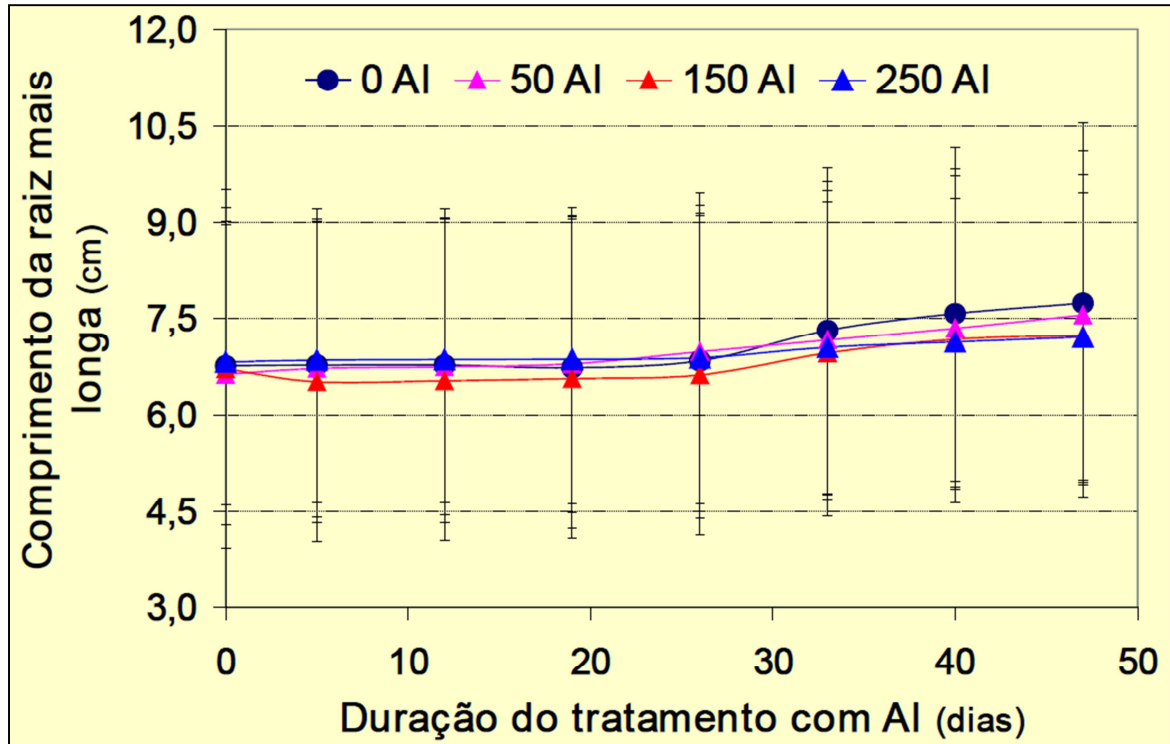


Figura 16. Efeito do Al em solução no crescimento da raiz principal de plântulas de *Sclerolobium paniculatum*, ao longo de 47 dias.

Fonte: Andrade et al. (2007).

Apesar de diversas razões terem sido apontadas para a falta de resposta da biomassa ao Al em solução, os resultados foram interpretados no sentido de que o Al não constituiu fator limitante ao desenvolvimento de plantas em estágio inicial de crescimento, reproduzindo o provável comportamento das espécies estudadas perante as condições restritivas de alta saturação por Al do solo de Cerrado.

6. CONCLUSÕES

- As espécies *Aegiphila sellowiana* (Pau tamanco), *Tabernaemontana hystrix* (Leiteiro), *Lafoensia pacari* (Dedaleiro), *Cordia ecalyculata* (Café de bugre) e *Cedrela fissilis* (Cedro rosa), típicas do Cerrado, foram tolerantes ao estresse abiótico causado pela exposição a soluções nutritivas contendo até 120 mg L^{-1} ($4444 \text{ } \mu\text{M}$) de Al;
- Apesar de o tempo de 21 dias de exposição a soluções contendo Al tenha sido considerado curto, não houve alterações no desenvolvimento das plantas quanto ao acúmulo de biomassa da parte aérea e das raízes;
- Vasos de *Leonard* foram considerados aparatos experimentais adequados para estudos da influência do Al em solução sobre o desenvolvimento de mudas de espécies nativas do Cerrado.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, R.M. **Produção, acúmulo e exsudação de ácidos orgânicos em dois genótipos de arroz (*Oryza sativa* L.), submetidos a níveis tóxicos de alumínio.** Viçosa, MG: UFV. 2005. 77 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- ANDRADE, L.R.M.; FRANCO, A.C.; HARIDASAN, M.; BARROS, L.M.G. CENARGEN; VAN DER GEEST, J.J.; CENARGEN, M.G.C.; RIBEIRO, D.G. Alumínio nos ápices radiculares de espécies nativas do Cerrado. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. Embrapa Cerrados - Folderes / Folhetos / Cartilhas (INFOTECA-E) . <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/572154>
- ANJOS, O. F. **EXSUDAÇÃO DE ÁCIDO MÁLICO E ALONGAMENTO RADICULAR EM GENÓTIPOS DE MILHO TRATADOS COM NÍVEIS TÓXICOS DE ALUMÍNIO.** 2007. 51 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Mg, 2007.
- ANTUNES, J.E.L. et al. Eficiência simbiótica de isolados de rizóbio noduladores de feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.). *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, v.35, n.3, pp. 751-757, 2011.
- AZEVEDO, A. C.; KÄMPF, N.; BOHNEN, H. **Alterações na dinâmica evolutiva de Latossolo Bruno pela calagem.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 20, n. 2, p. 191-198, 1996.
- BACKES, P; IRGANG, B. **Mata Atlântica: as árvores e a paisagem.** Porto Alegre: Editora Paisagem do Sul, 396 p., 2004.
- BARBOSA, R.I. ; FEARNside, P. M.. **Above-ground biomass and fate of the carbono after burning in the savannas of Roraima, Brazilian Amazonia.** Forest Ecology and Management, v. 206, n. 1-3, p. 295-316, 2005.
- BRACCINI, M.C.L. et al. **Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução.** Bragantia, Campinas, v. 59, n. 2, 2000.

- BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. New Jersey: Prentice Hall, 2006. 960p.
- CAMBRAIA, J.; SILVA, M. A.; CANO, M. A. O.; SANT'ANNA, R. **Método simples para a avaliação de cultivares de sorgo quanto a tolerância ao alumínio**. Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal, Londrina, v. 3, n. 2, p. 87-95, 1991. Disponível em: <www.cnpdia.embrapa.br/rbfv/pdfs/v3n2p87.pdf>. Acesso em: 21 out. 2013.
- CARVALHO, I. S. H. **POTENCIAIS E LIMITAÇÕES DO USO SUSTENTÁVEL DA BIODIVERSIDADE DO CERRADO: UM ESTUDO DE CASO DA COOPERATIVA GRANDE SERTÃO NO NORTE DE MINAS**. 2007. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade De Brasília, Brasília, Df, 2007.
- COGHI, R. Sensibilidade de variedades de soja (*Glycine max*) ao alumínio em solução. 2012. 54 p. Trabalho de conclusão de curso – UFSCar/CCA, Araras-SP, 2012.
- COUTINHO, L.M.. O bioma do CerradoCerrado. In: KLEIN, Aldo Luiz.**Eugen Warming e o cerradoCerrado brasileiro: Um século depois**. [s. L.]: Unesp, 2002. p. 77-106.
- DURIGAN, G. et al. **Manual para recuperação da vegetação de cerrado Cerrado**. 2011. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/mataciliar/>>. Acesso em: 19 out. 2013.
- DURIGAN, G. Bases e diretrizes para a restauração da vegetação de cerrado. In: Kageyama, P.Y. et al. Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu, FEPAF, cap. 8 p.185-204, 2003.
- FAGERIA, N. K. **Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo de cerradoCerrado**. Pesquisa Agropecária Brasileira, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 2001.
- FAGERIA, N. K.; GHEYI, H. R. **Efficient crop production**. Campina Grande: UFPB, 1999. 548 p.
- FERREIRA, P.A.A. et al. Eficiência simbiótica de estirpes de *Cupriavidus necator* tolerantes a zinco, cádmio, cobre e chumbo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.1, pp. 85-95, 2012.

- FERREIRA, R.P.; MOREIRA, A.; RASSINI, J.B. **Toxidez de alumínio em culturas anuais**. São Carlos, Embrapa Pecuária Sudeste, Documentos 63, 2006. 35p.
- GONÇALVES, J.F.C.; CAMBRAIA, J.; MOSQUIM, P.R.; ARAÚJO, E.F. **Aluminum effect on the organic acid production and accumulation in sorghum**. J. Plant Nutr., 28:507-520, 2005.
- GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no cerradoCerrado. In: Ferri, M. G. (Ed.) **III Simpósio sobre o cerradoCerrado**. EdUSP, São Paulo, 1971. 44-60.
- HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 20:183-195. 2008.
- HARIDASAN, M. Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brazil. *Plant and Soil*, 65:265-273, 1982.
- HARIDASAN M., Pinheiro A.A.M.C., Torres F.R.R.. **Resposta de algumas espécies do estrato rasteiro de um cerradoCerrado à calagem e à adubação**. In: Leite, L. L., and C. H. Saito (Eds.). *Contribuição ao conhecimento ecológico do cerradoCerrado*. Universidade de Brasília, Brasilia, Brazil, 1997. p. 87-91.
- HARIDASAN, M. **Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerradoCerrado?** In: Prado, CHBA; Casali, CA. *Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral*. Barueri, Editora Manole. v.85, n.204.1553-1559, 2008
- HARIDASAN, M. **Distribution and mineral nutrition of aluminium accumulating species in different plant communities of the cerradoCerrado region of central Brazil**. San José JJ, Montes R (eds), *La capacidad bioproductiva de sabanas*, p. 309-348, 1987.
- HARIDASAN, M. **Nutritional adaptations of native plants of the cerradoCerrado biome in acid soils**. Review: *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 2008
- HARIDASAN, M.; DE ARAÚJO, Glein Monteiro. **Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerradoCerrado region of central Brazil**. *Forest Ecology and Management*, v. 24, n. 1, p. 15-26, 1988.
- HARIDASAN, M.; PAVIANI, T. I.; SCHIAVINI, I. **Localization of aluminium in the leaves of some aluminiumaccumulating species**. *Journal Plant and Soil* v.95. p.435-437, 1986.

- HARTWIG, I. et al. **Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas**. Semina: Ciências Agrárias, v. 28, n. 2, p. 219-228, 2007.
- JOHNSON, C M et al. **Comparative chlorine requirements of different plant species**. Plant And Soil. Dordrecht, p. 337-353. ago. 1957.
- KENNEDY, C.W.; SMITH JR., W.C.; BA, M.T. **Root cation exchange capacity of cotton cultivars in relation to aluminum toxicity**. Journal of Plant Nutrition, v.9, p.1123-1133, 1986.
- KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. **A conservação do Cerrado brasileiro**. Megadiversidade, v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.
- KLINK, Carlos A.; MOREIRA, Adriana G. **Past and current human occupation, and land use**. The Cerrado Cerrados of Brasil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savanna, p. 69-90, 2002.
- KNICKER, H. **How does fire affect the nature and stability of soil organic nitrogen and carbon? A review**. Biogeochemistry, Dordrecht, v. 85, n. 11, p. 91-118, mar. 2007.
- LIMA, D.S. de. Sensibilidade de variedades de milho (*Zea mays*) ao alumínio em solução. 2011. 43 p. Trabalho de conclusão de curso – UFSCar/CCA, Araras-SP, 2011.
- LIMA, J. E. F. W.; SILVA, EM da. **Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. MMA. Brasília, DF, 2005.
- MA, J. F.; HIRADATE, Syuntaro. **Form of aluminium for uptake and translocation in buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench)**. Planta, v. 211, n. 3, p. 355-360, 2000.
- MA, J.F ; RYAN, P.R .; DELHAIZE, E. **Aluminium tolerance in plants and the complexing role of organic acids**. Trends in plant science, v. 6, n. 6, p. 273-278, 2001.
- MACEDO, F.L. et al. **Efeito do alumínio em plantas de Pinhão-Manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva**. Semina: Ciências Agrárias, v. 32, n. 1, p. 157-164, 2011.

- MACHADO, W.B. Acumulação de alumínio *Vochysia thyrsoidea* POHL. Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, Universidade de Brasília, 1985.
- MALVESTITI, J.A. Sensibilidade de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) ao alumínio em solução avaliada por corantes indicadores. 2011. 63 p. Trabalho de conclusão de curso – UFSCar/CCA, Araras-SP, 2011.
- MARIANO, E.D.; JORGE, R.A.; KELTJENS, W.G.; MENOSSI, M. **Metabolism and root exudation of organic acid anions under aluminium stress.** Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 17, p. 157, 2005.
- MARQUELLI, R. P. **O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DA AGRICULTURA NO CERRADO CERRADO BRASILEIRO.** 64 f. Monografia (MBA) - Centro Universitário de Brasília, Distrito Federal, 2003.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London, Academic Press, 1995. 889p.
- MATSUMOTO, H. et al. **Localization of aluminium in tea leaves.** Plant and Cell Physiology, v. 17, n. 3, p. 627-631, 1976.
- MATTIELLO, Edson Marcio et al. **Produção de matéria seca, crescimento radicular e absorção de cálcio, fósforo e alumínio por coffeea canephora e coffeea arabica sob influência da atividade do alumínio em solução.** Rev. Bras. Ciênc. Solo, Viçosa, v. 32, n. 1, Feb. 2008
- MEDEIROS, R.A. **Comparação do estado nutricional de algumas espécies, acumuladoras e não acumuladoras de alumínio, nativas do cerrado Cerrado.** Dissertação de Mestrado, Brasília, DF, Universidade de Brasília, 1983.
- MIRANDA, Heloísa S.; SATO, Margarete N. **Efeitos do fogo na vegetação lenhosa do Cerrado Cerrado. Cerrado Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Conservação.** Ministério do Meio Ambiente, Brasília. 439p, 2005.
- OLIVEIRA, M.S.; SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C. Efeito do boro e da calagem sobre o crescimento inicial de Cajú (*Anacardium giganteum* W. Hancock ex Engl.). In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia-MG, 2011a.

- OLIVEIRA, M. S.; SOARES, M.R.; CASAGRANDE, J.C. Efeito do boro e da calagem sobre o crescimento inicial de Angelim-do-Cerrado (*Andira cuyabensis* Benth.). In: XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Uberlândia-MG, 2011b.
- PAIVA, A. O.; REZENDE, A. V. ; PEREIRA, R. S. **ESTOQUE DE CARBONO EM CERRADO CERRADO SENSU STRICTO DO DISTRITO FEDERAL**. Revista Árvore, Viçosa, Mg, v. 35, n. 3, p.527-538, 2011.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1991. 343 p.
- RAMÍREZ-BENÍTEZ, J. E.; CHEE-GONZÁLEZ, L.; HERNANDEZ-SOTOMAYOR, S. M. T. **Aluminium induces changes in organic acids metabolism in Coffea Arabica suspension cells with differential Al- tolerance**. Journal of Inorganic Biochemistry, Columbia, v.102, n.8, p.1631–1637, 2008.
- RIBEIRO, J. F.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A. & SOUSA-SILVA, J. C. **Ocupação do bioma Cerrado Cerrado e conservação da sua diversidade vegetal**. In: SCARIOT, A.; SOUSA-
- ROSSIELLO, R.O.P.; JACOB NETTO, 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, 2006. p.375-418.
- SANO, E. E. ; ROSA, R.; BRITO, J. L. S.; FERREIRA, L. G. **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil**. Environmental Monitoring and Assessment (Print), v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. **Mapeamento da cobertura vegetal do Bioma Cerrado Cerrado: estratégias e resultados**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrado Cerrados, 2007. 33p (Documentos / Embrapa Cerrado Cerrados, ISSN 15175111; 190)
- SANO, E.E.; Rosa, R.; Brito, J.L.S.; Ferreira, L.G. **Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.43, p.153-156, 2008.
- SCHAFFERT, R.E, FONSECA JÚNIOR SC, SILVA LA, SANTOS PHA e BERNARDINO KC. **Validação de Método de Seleção Individual para Tolerância ao Alumínio Tóxico em Plântulas de Sorgo Avaliadas em**

- Solução Nutritiva.** XXVIII Congresso Nacional de Milho e Sorgo, Goiânia, 2010, p. 3105-3112.
- SCHEFFER-BASSO, S.M.; VOSS, M.; JACQUES, A.V.Á. Nodulação e fixação biológica de nitrogênio de *Adesmia latifolia* e *Lotus corniculatus* em vasos de Leonard. Revista Brasileira de Zootecnia, v.30, n.3, pp. 687-693, 2001.
- SILVA, J. C. & FELFILI, J. M. (org.). **CerradoCerrado: ecologia, biodiversidade e conservação.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 2005, p. 383-399.
- SILVA, J.A.G.; CARVALHO, F.I.F.; COIMBRA, J.L.M.; et al. **Tolerância ao alumínio em cultivares de aveia branca sob cultivo hidropônico.** Bragantia, Campinas, v.66, n.4, p.587-593, 2007.
- SILVA, R.C.C. Aspectos fisiológicos, fitoquímicos e proteômicos de *Qualea grandiflora* Mart. em resposta ao alumínio. 2012. 136 f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- SOARES, M.R. et al. **Nutrição mineral de espécies nativas em solos do cerradoCerrado.** In: BARBOSA, Luiz Mauro et al. (Comp.). **Anais do IV Simpósio de Restauração Ecológica: Desafios Atuais e Futuros.** São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2011. p.147-154.
- SORREANO, Maria Claudia Mendes. **Avaliação da eExigência nNutricional na fase inicial do crescimento de espécies florestais nativas.** 2006. 296 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Agrônômica, Esalq, Piracicaba, 2006.
- SOUSA, D. M. G; LOBATO, E.; REIN, T. A.. **Uso de gesso nos solos de CerradoCerrado.** 32. ed. Planaltina, DF: Embrapa CerradoCerrados, 2005. 18 p.
- SOUZA, Eliziete Pereira de; SILVA, Ivandro de França da; FERREIRA, Leonardo Elias. MECANISMOS DE TOLERÂNCIA A ESTRESSES POR METAIS PESADOS EM PLANTAS. **Current Agricultural Science and Technology**, v. 17, n. 2, 2013.
- TABALDI, L. A. **Avaliação bioquímica-fisiológica de clones de batata em relação ao alumínio.** Tese de doutorado, Santa Maria, RS, Universidade Federal de Santa Maria, 2008.

- VALENTE, C. R. **Impacto do desmatamento do CerradoCerrado nos recursos hídricos superficiais**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (2011). Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1068.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2013.
- VITORELLO, V. A.; CAPALDI, F. R.; STEFANUTO, V. A. **Recent advances in aluminum toxicity and resistance in higher plants**. Brazilian Journal of Plant Physiology, Piracicaba, v. 17, n. 1, p. 129-143, 2005.
- WATANABE, Toshihiro; OSAKI, Mitsuru; TADANO, Toshiaki. **Aluminum-induced growth stimulation in relation to calcium, magnesium, and silicate nutrition in Melastoma malabathricum L.** Soil science and plant nutrition, v. 43, n. 4, p. 827-837, 1997.
- XIA, J. et al. **Plasma membrane-localized transporter for aluminum in rice**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 107, n. 43, p. 18381-18385, 2010.