
ECOLOGIA

MARINA ZAIA

**“ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO
ACUMULADORAS DE ALUMÍNIO EM SUAS
FOLHAS TAMBÉM O ACUMULAM EM SUAS
RAÍZES?”**



Rio Claro
2021

MARINA ZAIA

“ESPÉCIES ARBÓREAS DO CERRADO ACUMULADORAS DE
ALUMÍNIO EM SUAS FOLHAS TAMBÉM O ACUMULAM EM SUAS
RAÍZES?”

Orientador: Prof. Dr. GUSTAVO HABERMANN

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Instituto de Biociências da Universidade Estadual
Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio
Claro, para obtenção do grau de Ecóloga.

Rio Claro
2021

Z21e	<p>Zaia, Marina</p> <p>Espécies arbóreas do Cerrado acumuladoras de alumínio em suas folhas também o acumulam em suas raízes? / Marina Zaia. -- Rio Claro, 2021</p> <p>19 p. : il., tabs.</p> <p>Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ecologia) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Biociências, Rio Claro</p> <p>Orientador: Gustavo Habermann</p> <p>1. Ecologia vegetal. 2. Ecofisiologia vegetal. 3. Alumínio. 4. Cerrado. 5. Fatores edáficos. I. Título.</p>
------	--

SUMÁRIO

1. RESUMO.....	5
2. INTRODUÇÃO.....	6
3. OBJETIVOS.....	7
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
4.1. Descrição da área experimental e material vegetal.....	7
4.2. Desenho experimental.....	9
4.3. Variáveis medidas.....	10
4.3.1 Concentração de Al nos órgãos.....	10
4.3.2. Análise da fertilidade do solo.....	10
4.3.3. Análise dos dados.....	11
5. RESULTADOS.....	11
5.1. Análise do solo.....	11
5.2. Espécies acumuladoras e não acumuladoras.....	12
5.2.1. Concentração de Al na Folha.....	12
5.2.2. Concentração de Al na Raiz.....	13
6. DISCUSSÃO.....	14
7. CONCLUSÃO.....	16
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	16

1. Resumo

No presente estudo, verificamos se espécies arbóreas da vegetação de Cerrado acumuladoras de alumínio (Al) em suas folhas também o acumulam em suas raízes. Além disso, verificamos se espécies arbóreas não-acumuladoras de Al do Cerrado, que embora mostrem concentração de Al foliar bem menor que as acumuladoras, acumulam Al nas suas raízes. Foram utilizadas plantas jovens e adultas (árvores) das espécies *Qualea grandiflora* e *Vochysia tucanorum* (Vochysiaceae) (acumuladoras de Al) e *Xylopia aromatica* (Annonaceae) e *Caryocar brasiliense* (Caryocaraceae) (não acumuladoras de Al). As coletas foram realizadas em área de remanescente de Cerrado *sensu stricto* na Fazenda São José da Conquista, município de Itirapina, SP. Foram coletadas aleatoriamente amostras de folhas e raízes de cinco indivíduos de cada espécie na área de campo. Estas foram separadas, secas à 60°C em estufa de circulação forçada de ar e em seguida encaminhadas para análise da concentração de Al no Laboratório de Nutrição de Plantas, no Instituto Agronômico de Campinas (IAC). Além disso, também foram coletadas amostras aleatórias de solo (20-40 cm de profundidade) da área. As análises dos resultados mostram que as espécies acumuladoras de Al em folhas, também apresentaram acúmulo deste elemento nas raízes em faixas superiores a 1000 mg kg⁻¹ de massa seca. Já as espécies não-acumuladoras apresentaram concentração de Al nas raízes em faixas menores que 1000 mg kg⁻¹ demonstrando um acúmulo aparentemente limitado nesse órgão. Estes resultados indicam que as estratégias de acúmulo de Al para as espécies acumuladoras e não-acumuladoras desse elemento nas folhas também se refletem em suas raízes, sugerindo respostas metabólicas sistêmicas, independentemente do órgão analisado.

Palavras-chave: Alumínio, Cerrado, espécies arbóreas, raiz.

2. Introdução

O alumínio (Al) é o terceiro elemento químico mais abundante na crosta terrestre. Estima-se que 40% dos solos aráveis do mundo são ácidos (VON UEXKÜLL & MUTERT, 1995). Em solos ácidos ($\text{pH} < 5,0$), a remoção de cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^{+}) do complexo de troca se torna relevante e as cargas negativas do solo são ocupadas por cátions mais abundantes, como prótons (H^{+}) e alumínio (Al^{3+}) (ECHART & CAVALLI-MOLINA, 2001). Assim, o pH da solução do solo se torna crítico e o Al, por força de reação e raio iônico, acaba se adsorvendo mais fortemente que as outras bases (ECHART & CAVALLI-MOLINA, 2001). O Al em concentrações excessivas é tóxico para a maioria das espécies vegetais (SINGH et al., 2017), pois quando em solo, esse elemento é incorporado a aluminossilicatos e à outras formas precipitadas, os quais são danosos às plantas (BRUNNER & SPERISEN, 2013). Sendo um dos maiores estressores de plantas em solos ácidos, a saturação por Al no complexo de troca pode se tornar superior a 50% da capacidade de troca catiônica (CTC) (HARIDASAN, 1985).

Os solos da vegetação do Cerrado, principalmente latossolos e entisóis arenosos, são ácidos ($\text{pH} < 5,0$), distróficos e pobres em nutrientes (LOPES & COX, 1977; HARIDASAN, 1994, 2008). De acordo com Sano et al. (1998), ele é o segundo maior domínio de vegetação do Brasil em área, apenas superado pela Floresta Amazônica e ocupa mais de 2.000.000 km², abrangendo partes de muitos estados, o que representa cerca de 23% do território brasileiro. Ocorre em altitudes que variam de cerca de 300 m e ainda fora do território brasileiro ocupa áreas na Bolívia e Paraguai. Trata-se de um complexo vegetacional que possui relações ecológicas e fisionômicas com outras savanas da América tropical e de continentes como África e Austrália (BEARD, 1953; COLE, 1958; EITEN, 1972, 1994; ALLEM & VALLS, 1987; SANO et al., 1998).

O Cerrado denominado *lato sensu* é muito diversificado e compreende fisionomias que incluem desde ambientes campestres (campo limpo, campo sujo e campo úmido), savânicos (cerrado *sensu stricto* – *s. str.*, cerrado típico e denso) até fisionomias florestais, como o cerradão (RATTER et al., 1997). Dentro dessas fisionomias, mas sobretudo no cerrado *s. str.* e também no cerradão, estão presentes muitas espécies vegetais com variações em seus metabolismos. Mesmo crescendo em solos ácidos, pobres e com saturação por Al acima de 50%, a grande maioria das espécies arbóreas não acumulam mais do que 600 mg de Al por kg de folhas secas (HARIDASAN, 1982). No entanto, algumas espécies arbóreas das famílias Melastomataceae (gênero *Miconia*), Vochysiaceae (gêneros *Qualea* e *Vochysia*) e Rubiaceae (gêneros *Palicourea* e *Rudgea*) apresentam concentração de Al em suas folhas muito elevada, sem que o Al cause danos metabólicos ou morfológicos (HARIDASAN, 1982; SOUZA et al.,

2015). Na verdade, espécies vegetais que acumulam acima de 1000 mg de Al por kg de folhas secas são consideradas acumuladoras deste metal (CHENERY, 1948), mesmo para aquelas não nativas da vegetação de Cerrado (JANSEN et al., 2002). Mas as espécies arbóreas do Cerrado dessas três famílias descritas acima chegam a acumular de 1.000 a 15.000 ou mais mg de Al por kg de folhas secas (HARIDASAN, 1982; SOUZA et al., 2015; BRESSAN et al., 2016; MALTA et al., 2016; NOGUEIRA et al., 2019).

Deste modo, é relativamente bem conhecida a capacidade dessas espécies arbóreas acumuladoras de Al do Cerrado em armazenar Al em seus tecidos foliares. No entanto, não se sabe se as espécies acumuladoras de Al desta vegetação também acumulam Al em suas raízes. Isso porque estudos que se preocupam com as raízes de plantas nativas, além de mais difíceis de serem conduzidos em campo, são também inexistentes. Sabe-se, por exemplo, que algumas espécies que acumulam não mais que 1500 mg de Al por kg de folhas também retêm este metal em suas raízes, mas em estudos conduzidos com mudas crescidas em solução nutritiva (BANHOS et al., 2016; BITTENCOURT et al., 2020).

Em vista disso, no presente estudo, elegemos duas espécies arbóreas acumuladoras de Al do Cerrado, da família Vochysiaceae e duas espécies arbóreas não-acumuladoras de Al do Cerrado, das famílias Annonaceae e Caryocaraceae. Logo, amostramos raízes de indivíduos dessas espécies crescendo em um remanescente de Cerrado para verificar a concentração do Al. Contudo, não deixamos de amostrar também as folhas para confirmação do acúmulo do Al neste órgão.

3. Objetivos

Objetivamos responder às seguintes questões: (i) espécies arbóreas da vegetação de Cerrado acumuladoras de Al em suas folhas também o acumulam em suas raízes? e (ii) espécies arbóreas não-acumuladoras de Al do Cerrado, que embora mostrem concentração de Al foliar bem menor que as acumuladoras, acumulam Al em suas raízes?

4. Material e Métodos

4.1 Descrição da área experimental e material vegetal

O estudo foi desenvolvido em uma área de Cerrado *sensu stricto*, no perímetro municipal de Itirapina (SP), na Fazenda São José da Conquista (22° 13' S 47° 53' W; 610 m de altitude; 260 ha) (Figura 1). O clima da região, segundo a classificação de Köppen (1948), é do tipo Cwa, com uma estação chuvosa de outubro a março e uma estação seca de abril a setembro, sendo a precipitação média anual de 1524 mm e a temperatura média de 22°C (ATHAYDE,

2007). A vegetação nesta área caracteriza-se por árvores e arbustos de portes pequenos (2-3 m de altura) e médios (3-7 m de altura) esparsos e troncos retorcidos. Conta também com algumas espécies das famílias Arecaceae, Bromeliaceae e Bignoniaceae e herbáceas espalhadas recobrando boa parte do solo.

As bordas do fragmento foram estabelecidas há aproximadamente 30 anos e a última queimada ocorreu há 20 anos (CAMARGO, 2008). Entretanto, em outubro de 2019 observou-se que uma área próxima à borda do fragmento, na região sul, foi atingida por uma queimada na qual muitos indivíduos da vegetação lenhosa e herbácea, principalmente, foram queimados, resultando em um cenário diferente daquele que nos deparamos inicialmente. Alguns espécimes foram coletados nesse ambiente e outros em áreas mais afastadas, no interior do fragmento onde o fogo não atingiu a vegetação.

As espécies utilizadas foram eleitas segundo o critério de acúmulo de Al. Assim, espécies que acumulam acima de 1000 mg de Al por kg de folha seca são consideradas acumuladoras de Al (CHENERY, 1948). Também nos apoiamos na lista de espécies acumuladoras de Al do Cerrado dos estudos iniciais de Haridasan (1982). Logo, utilizamos aleatoriamente cinco repetições de indivíduos de diferentes estágios, sendo estes jovens e adultos de duas espécies acumuladoras de Al da família Vochysiaceae que é composta por oito gêneros e 240 espécies (SENTERRE & OBIANG, 2005; SHIMIZU & YAMAMOTO, 2012; GONÇALVES et al., 2017). Uma das eleitas foi *Qualea grandiflora* Mart. que acumula entre 4000 a 6000 mg de Al por kg de folha seca (HARIDASAN, 1982), possui folhas grandes opostas, lâmina foliar coriácea, rígida, com até 20 cm de comprimento, nervação secundária paralelinérvea e proeminente na face inferior (DURIGAN et al., 2012).

Dentro da mesma família, utilizamos indivíduos de *Vochysia tucanorum* Mart., que pode atingir 5-8 m de altura e possui folhas verticiladas que formam agrupamentos de quatro em cada nó, além de apresentarem lâmina oboval ou elíptica, face abaxial glabra, nervura primária proeminente e textura cartácea (GONÇALVES et al., 2013). Esta espécie acumula cerca de 40000 mg de Al por kg de semente seca (HARIDASAN, 2008) e aproximadamente 21000 mg de Al por kg de folha seca (HARIDASAN & ARAÚJO, 1988).

Também foram utilizadas cinco repetições (indivíduos) de duas espécies não-acumuladoras de Al. Elegemos *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. (Annonaceae), a qual trata-se de uma árvore que apresenta acúmulo de cerca de 150 mg de Al por kg de folha seca (HARIDASAN & ARAÚJO, 1988), com crescimento monopodial, ramos horizontais a pendentes, folhas alternas dísticas e com tricomas nas duas faces (DURIGAN et al., 2012). Possui ampla e característica distribuição na vegetação de Cerrado *lato sensu*, sendo a espécie

mais comum da família Annonaceae nesse ambiente (SILBERBAUER-GOTTSBERGER et al., 2003; SANTOS, 2007). Também elegemos *Caryocar brasiliense* Cambess. (Caryocaraceae), ou popularmente conhecido por pequi, que é uma árvore que possui acúmulo de aproximadamente 170 mg de Al por kg de folha seca (HARIDASAN & ARAÚJO, 1988), a qual pode atingir até 10 metros de altura, possui folhas grandes, opostas, sem brilho, folíolos tomentosos e com margem crenada. Esta espécie também tem ampla ocorrência na vegetação de Cerrado (RIBEIRO et al., 1986; LORENZI, 1998) e possui grande importância ecológica, econômica e social.



Figura 1. Vista superior da área do fragmento estudado (indicado pela seta) pertencente à Fazenda São José da Conquista em Itirapina, SP, Brasil. Fonte: QGIS via ESRI Satellite.

4.2. Desenho experimental

Coletamos amostras de raízes e folhas de *Qualea grandiflora* e *Vochysia tucanorum* (acumuladoras de Al) e *Xylopia aromatica* e *Caryocar brasiliense* (não-acumuladoras de Al), ocorrentes no fragmento de Cerrado descrito previamente. Foram amostrados aleatoriamente cinco indivíduos de cada espécie. As amostras de folhas foram coletadas de acordo com os quadrantes Norte, Sul, Leste e Oeste. Além disso, foram considerados apenas os nós com folhas maduras. No laboratório, essas amostras foram separadas, desmembradas e secas em estufa de circulação forçada de ar. Em seguida, foram pesadas e enviadas para análise de quantificação de Al no tecido.

Já para a coleta de amostras de raízes foram utilizados também cinco indivíduos de cada espécie em diferentes estágios (adultos e jovens). Foram coletadas raízes próximas da superfície do solo utilizando pás, ancinhos, escardilhos, e garfos de jardinagem para a retirada de terra de forma delicada para não danificar as amostras, e ainda tesoura de poda e facão isentos de alumínio, para cortar parte das raízes quando essas eram muito grandes. No laboratório, as amostras foram limpas e secas, e posteriormente enviadas para análise. Depois de analisadas, comparamos a concentração de Al entre as espécies para cada órgão amostrado.

Além disso, também coletamos amostras de solo (20-40 cm de profundidade). Foram coletadas aleatoriamente cinco amostras na área de estudo. Subsequentemente, estas foram encaminhadas para a análise de fertilidade e saturação de Al.

4.3 Variáveis medidas

4.3.1 Concentração de Al nos órgãos

As amostras de material vegetal coletadas foram enviadas ao Laboratório de Nutrição de Plantas do Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Seção de Fertilidade e Nutrição de Plantas (Campinas, SP) para análise da concentração de Al. Para isso, todo material passou por uma triagem. As folhas foram quantificadas e limpas com água destilada para a retirada de resíduos de solo. As raízes foram lavadas com escova e esponja em água corrente de torneira para a retirada de resíduos que possam ter ficado impregnados. Em seguida, passaram por segunda lavagem em água destilada, para melhor limpeza. Subsequentemente, as amostras foram postas para secar em estufa de circulação forçada de ar (60°C).

As raízes, depois de secas, foram desmembradas com um martelo de borracha (isento de qualquer fonte de Al), e picadas com uma tesoura de poda em tamanhos pequenos para serem moídas e analisadas. Todo o material seco e moído foi digerido em uma solução de ácidos sulfúrico:nítrico:perclórico (1:10:2, v / v / v). Em seguida, a determinação do conteúdo de Al foi realizada pelo método de espectrometria de absorção atômica (SARRUGE & HAAG, 1974) e apresentada como mg Al por kg de material seco.

4.3.2 Análise da fertilidade do solo

As amostras de solo foram enviadas para o Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agronômico (IAC, Campinas, SP). Foram realizadas análises químicas (RAIJ et al., 2001), incluindo determinação de CTC, pH do solo e saturação por Al (Al³⁺%).

4.3.3 Análise dos dados

Foram estudadas como causas de variação as diferentes espécies, cujos indivíduos amostramos ao acaso utilizando-se cinco repetições. Os dados foram submetidos à análise de variância (one-way ANOVA), em que foram testadas as diferenças para cada órgão (folhas e raízes) entre as espécies. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($\alpha = 0,05\%$) para verificar diferenças em múltiplas comparações.

5. Resultados

5.1 Análise do solo

O solo da área mostrou-se com pH consideravelmente reduzido (abaixo de 6,0), com valor médio de 3,8 indicando alta acidez (Tabela 1). Os macronutrientes (bases do solo – K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+}) apresentaram valores caracterizados como baixos ou muito baixos (Tabela 2). Já para os micronutrientes, Fe^{2+} mostrou-se alto, B^{3+} e Mn^{2+} com valores médios e Cu^{2+} e Zn^{2+} , como esperado para solos de Cerrado, baixos (Tabela 3). Todos os dados e faixas de valores foram classificados de acordo com Raij et al. (1996).

Tabela 1. Resultado da fertilidade do solo de amostras de solo coletadas à profundidade de 20 a 40 cm.

	pH (CaCl ₂)	MO (g dm ⁻³)	CTC mmolc dm ⁻³	V% -----%-----	Al ³⁺ %
1	3.8 ± 0.11	9.4 ± 1.95	45.4 ± 5.33	8.6 ± 2.88	80.38 ± 6.81

Laboratório de Fertilidade do Solo - Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais - Instituto Agronômico (IAC, Campinas-SP)

1 = solo do fragmento de cerrado *sensu stricto* em Itirapina-SP (22° 13' S e 47° 53' W)

MO = Matéria orgânica, CTC = Capacidade de troca catiônica, V% = Saturação de bases, Al³⁺% = Saturação por alumínio

Tabela 2. Valores da concentração de macronutrientes de amostras de solo coletadas à profundidade de 20 a 40 cm.

	P resina (mg dm ⁻³)	Al ³⁺ -----mmolc dm ⁻³ -----	K ⁺ resina	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB
1	1.8 ± 0.45	15.8 ± 2.59	0.4 ± 0.18	2.4 ± 0.90	1 ± 0	3.8 ± 0.99

Laboratório de Fertilidade do Solo - Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais - Instituto Agronômico (IAC, Campinas-SP)

1 = solo do fragmento de cerrado *sensu stricto* em Itirapina-SP (22° 13' S e 47° 53' W)

SB = Soma de bases

Tabela 3. Valores da concentração de micronutrientes de amostras de solo coletadas à profundidade de 20 a 40 cm.

	B³⁺	Cu²⁺	Fe²⁺	Mn²⁺	Zn²⁺
	-----mg dm ⁻³ -----				
1	0.27 ± 0.041	0.28 ± 0.045	55.2 ± 17.17	1.4 ± 0.61	0.1 ± 0

Laboratório de Fertilidade do Solo - Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais - Instituto Agrônomo (IAC, Campinas-SP)

1 = solo do fragmento de cerrado *sensu stricto* em Itirapina-SP (22° 13' S e 47° 53' W)

5.2 Espécies acumuladoras e não acumuladoras

5.2.1 Concentração de Al na Folha

As espécies *X. aromatica* e *C. brasiliense* (não acumuladoras) mostraram concentrações foliares semelhantes. Sendo estas bem menores que 1000 mg kg⁻¹ de Al, variando de 90 a 280 mg kg⁻¹ de Al. Já as espécies *Q. grandiflora* e *V. tucanorum* (acumuladoras de Al), apresentaram valores acima de 1000 mg kg⁻¹ de Al, com uma média de 5300 e 23000 mg kg⁻¹ de Al, respectivamente (Figura 2).

Entre as espécies há uma significativa diferença na concentração de Al, e *V. tucanorum* apresentou valores aproximadamente cinco vezes maiores do que *Q. grandiflora* e aproximadamente 170 vezes maiores do que *C. brasiliense* e *X. aromatica*.

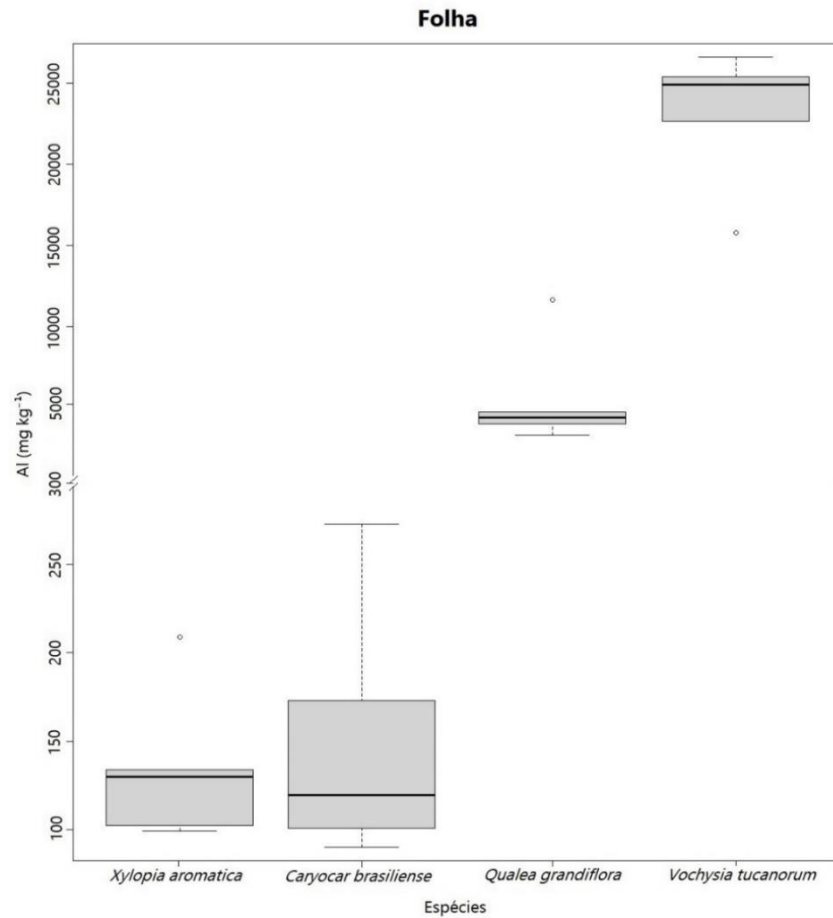


Figura 2. Concentração de alumínio em folhas de *X. aromatica*, *C. brasiliense*, *Q. grandiflora* e *V. tucanorum* coletadas em fragmento de Cerrado *sensu stricto*, Itirapina, SP, Brasil.

5.2.2 Concentração de Al na Raiz

Nas raízes, as duas espécies não acumuladoras apresentaram valores abaixo de 1000 mg kg⁻¹ de Al (Figura 3). Já entre as acumuladoras, *Q. grandiflora* apresentou um valor médio de 1034 mg kg⁻¹ de Al, enquanto *V. tucanorum* apresentou quantidades acima de 5000 mg kg⁻¹ (Figura 3).

Entre todas as espécies, assim como nas folhas, *V. tucanorum* também apresentou o maior valor para raiz. Esta, quando comparada à *Q. grandiflora*, apresentou concentração de Al aproximadamente seis vezes maior e, quando comparada à *C. brasiliense* e *X. aromatica*, mostrou cerca de 17 e 200 vezes mais Al, respectivamente.

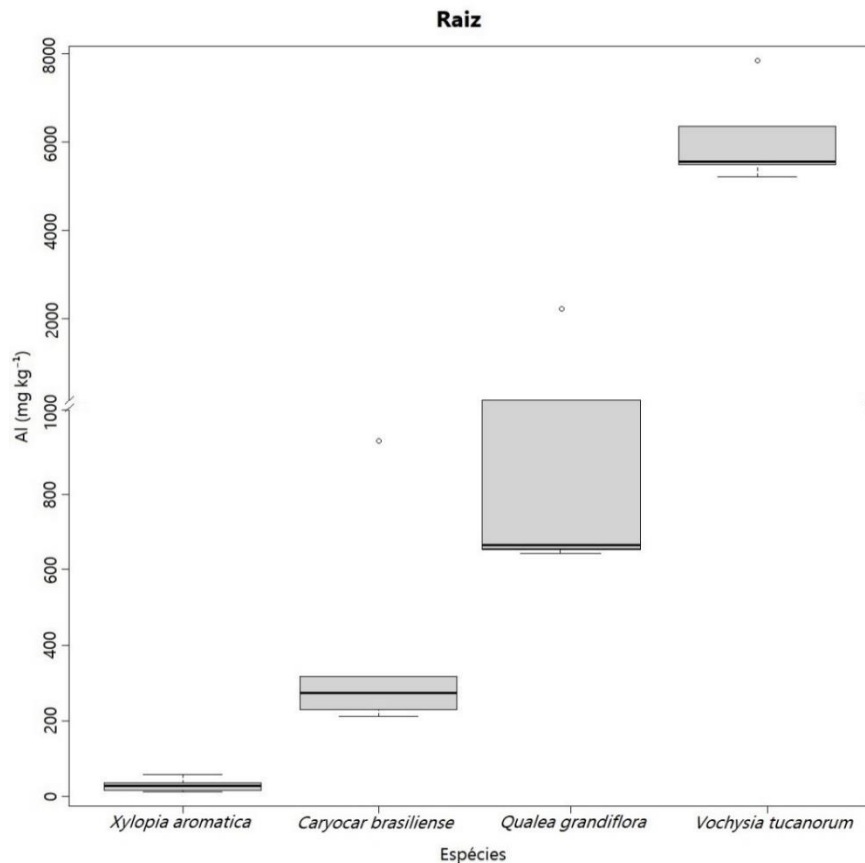


Figura 3. Concentração de alumínio em raiz de *X. aromatica*, *C. brasiliense*, *Q. grandiflora* e *V. tucanorum*, coletadas em fragmento de cerrado *sensu stricto*, Itirapina, SP, Brasil.

6. Discussão

Os resultados encontrados mostram que as folhas de *X. aromatica* e *C. brasiliense* apresentaram quantidades bem menores que 1000 mg kg^{-1} de Al, reiterando não serem acumuladoras de Al de acordo com os critérios de Chenery (1948). Estas faixas de acúmulo de Al foliar encontradas para estas duas espécies também estão de acordo com as listas de espécies acumuladoras e não acumuladoras do Cerrado (HARIDASAN, 1982), reforçando suas classificações como não-acumuladoras. Os valores médios obtidos também foram parecidos com os reportados por Haridasan & Araújo (1988). Apesar de ser um resultado esperado (diante das listas de espécies não-acumuladoras de Al do Cerrado), isso reitera suas classificações à vista dos poucos estudos disponíveis sobre o assunto.

Também como esperado, as folhas de *Q. grandiflora* e *V. tucanorum* apresentaram valores bem acima de 1000 mg kg^{-1} de Al, o que se encaixa dentro do critério de Chenery (1948) para determinar se uma espécie é acumuladora de Al. Assim, o presente trabalho reforça suas classificações como espécies acumuladoras de Al em folhas. Os resultados de concentração

aqui descritos estão de acordo com os dados encontrados por Haridasan & Araújo (1988), e também foram semelhantes aos registros feitos por Souza et al. (2015), em que folhas jovens e maduras de espécies acumuladoras apresentaram altas concentrações de Al.

O fato de as duas espécies, *X. aromatica* e *C. brasiliense*, terem apresentado acúmulo de Al nas raízes em faixas abaixo de 1000 mg kg^{-1} indica que estas plantas talvez demonstrem um acúmulo limitado de Al neste órgão. Embora isso possa até ser “esperado”, parece não haver estudos disponíveis em literatura desvendando essas informações. Isso porque o estudo de órgãos subterrâneos no Cerrado ou em qualquer outra vegetação é trabalhoso, oneroso e complexo. A obtenção das amostras é tarefa, até certo ponto, extenuante e os trabalhos se concentram em “validar” as informações do estado nutricional apenas nas folhas. Medidas indiretas podem ser encontradas, como em plantas cultivadas em laboratório. Por exemplo, em um estudo recente, plantas de *Styrax camporum* (Styracaceae), uma espécie de Cerrado moderadamente acumuladora de Al (BRESSAN et al., 2020), parecem exsudar ácidos orgânicos em solução nutritiva contendo Al, sugerindo que estes ácidos orgânicos fazem parte do mecanismo de tolerância externa (exclusão de Al pela raiz) de plantas dessa espécie do Cerrado (BITTENCOURT et al., 2020).

Já entre as acumuladoras de Al, *Q. grandiflora* apresentou valor médio acima de 1000 mg kg^{-1} de Al, o que indica acúmulo significativo desse elemento em suas raízes, o que também parece ser desconhecido da comunidade científica até este momento. Da mesma forma, *V. tucanorum* que acumulou aproximadamente 6230 mg kg^{-1} de Al em suas raízes, sendo o valor mais alto entre as espécies, evidencia acúmulo considerável em suas raízes. Tal valor pode ser comparável ao acúmulo de Al em folhas de espécies acumuladoras de Al no Cerrado, como a própria *Q. grandiflora* (Figura 2). Para plântulas jovens de *V. tucanorum* cultivadas em vasos contendo solo ácido, o Al é absorvido e acumulado pelas raízes e folhas; mudas dessa espécie chegam a acumular 3000 mg de Al por kg de massa seca em suas raízes (SOUZA et al., 2017).

No entanto, a comparação entre valores encontrados em plantas no campo em fragmento de Cerrado *sensu stricto*, como no presente estudo, e plântulas cultivadas em laboratório, devem guardar as devidas proporções e conclusões generalizadas devem ser evitadas. Até onde sabemos, o presente trabalho de conclusão de curso traz informações inéditas e, aparentemente, pelo menos estas duas espécies acumuladoras de Al em folhas, *Q. grandiflora* e *V. tucanorum*, também parecem acumular Al em suas raízes.

7. Conclusão

No presente trabalho, procuramos responder duas perguntas. Primeiramente, se espécies arbóreas da vegetação de Cerrado acumuladoras de Al em suas folhas também o acumulam em suas raízes. Os resultados mostraram que sim, logo estas espécies “acumuladoras de Al” também parecem acumulá-lo em suas raízes.

Procuramos também responder se espécies arbóreas não acumuladoras de Al do Cerrado, que embora mostrem concentração de Al foliar bem menor que as acumuladoras, acumulam Al em suas raízes. Os resultados evidenciam que não, portanto as espécies “não acumuladoras de Al” (nas folhas) não parecem acumular este elemento em suas raízes.

8. Referências Bibliográficas

- ALLEM, A.C.; VALLS, J.F.M. **Recursos forrageiros nativos do Pantanal Mato-Grossense**. Brasília: EMBRAPA-CENARGEN, 1987. (EMBRAPA-CENARGEN, Documentos, 8).
- ATHAYDE, E.A. **Influência da borda e do isolamento na fenologia e no sucesso reprodutivo de *Anadenanthera falcata* (Benth.) Speg. (Fabaceae) em uma região de cerrado stricto sensu, Itirapina, São Paulo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo. 2007.
- BANHOS, O.F.A.A.; DE SOUZA, M.C.; HABERMANN, G. High aluminum availability may affect *Styrax camporum*, an Al non-accumulating species from the Brazilian savanna. **Theoretical and Experimental Plant Physiology**, v. 28, p. 321-332, 2016.
- BEARD, J.S. The savanna vegetation of northern tropical America. **Ecological Monographs**, v. 23, p. 149-215, 1953.
- BITTENCOURT, B.M.O.C.; DA SILVA, C.M.S; FILHO, S.Z.; HABERMANN, G. Aluminum (Al)-induced organic acid exudation in an Al-accumulating species from the Brazilian savanna. **Trees**, v. 34, p. 155-162, 2020.
- BRESSAN, A.C.G.; COAN, A.I.; HABERMANN, G. X-ray spectra in SEM and staining with chrome azurol S show Al deposits in leaf tissues of Al-accumulating and non-accumulating plants from the Cerrado. **Plant and Soil**, v. 404, p. 293-306, 2016.
- BRESSAN, A.C.G.; SILVA, G.S.; BANHOS, O.F.A.A.; TANAKA, F.A.O.; HABERMANN, G. Physiological, anatomical and ultrastructural effects of aluminum on *Styrax camporum*, a native Cerrado woody species. **Journal of Plant Research**, v. 133, p. 625-637, 2020.

- BRUNNER, I. & SPERISEN, C. Aluminum exclusion and aluminum tolerance in woody plants. **Frontiers in Plant Science**, v. 4, n. 172, p. 1-12, 2013.
- CAMARGO, M.G.G. **Influência da borda na frutificação e nas síndromes de dispersão de sementes em uma área de Cerrado *sensu stricto***. 2008. Tese (Mestrado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, São Paulo, 2008.
- CHENERY, E.M. Aluminium in the plant world. **Kew Bulletin**, v. 3, p. 173-183, 1948.
- COLE, M.M. A savana brasileira. **Boletim Carioca de Geografia**, v. 11, p. 5-52, 1958.
- DURIGAN, G.; RAMOS, V.S.; IVANAUSKAS, N.M.; FRANCO, G.A.D.C. **Espécies indicadoras de fitofisionomias na transição Cerrado-Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2012.
- ECHART, C. L.; CAVALLI-MOLINA, S. Fitotoxicidade do alumínio: Efeitos, mecanismo de tolerância e seu controle genético. **Ciência Rural**, v. 31, n. 3, p. 531-541, 2001.
- EITEN, G. The Cerrado vegetation of Brazil. **The Botanical Review**, v. 38, p. 201-341, 1972.
- EITEN, G. Vegetação do Cerrado. *In*: PINTO, M.N. (coord.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília/SEMATEC, p. 9-65, 1994.
- GONÇALVES, D. J. P.; ROMERO, R. & YAMAMOTO, K. Vochysiaceae no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gérias, Brasil. **Rodriguésia**, v. 64, n. 4; p. 863-875, 2013.
- GONÇALVES, D. J. P.; SHIMIZU, G. H.; YAMAMOTO, K. & SEMIR, J. Vochysiaceae na Região do Planalto de Diamantina, Minas Gerais, Brasil. **Rodriguésia**, v. 68, n. 1, p. 159-193. 2017.
- HARIDASAN, M. Aluminium accumulation by some Cerrado native species of Central Brazil. **Plant and Soil**, v. 65, n. 2, p. 265-273, 1982.
- HARIDASAN, M. Seasonal variations in the foliar concentrations of nutrients in some aluminium accumulating and non-accumulating species of the Cerrado region of Central Brazil. **Plant and Soil**, v. 88, p. 433-436, 1985.
- HARIDASAN, M. Solos do Distrito Federal. *In*: Novaes Pinto M. (ed), **Cerrado: Caracterização, ocupação e perspectivas - O caso do Distrito Federal**. Brasília: Editora Universidade de Brasília/SEMATEC, p. 322-334, 1994.
- HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 20, n. 3, p. 183-195, 2008.
- HARIDASAN, M.; ARAÚJO, G. M. Aluminium-Accumulating Species in Two Forest Communities in the Cerrado Region of Central Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 24, p. 15-26, 1988.

- JANSEN, S.; BROADLEY, M.R.; ROBBRECHT, A.N.D.; SMETS, E. Aluminum hyperaccumulation in angiosperms: a review of its phylogenetic significance. **The Botanical Review**, v. 68, p. 235-269, 2002.
- KÖEPPEN, W. (1948). **Climatologia**: con un estudio de los climas de la tierra. Fondo de Cultura Economica, México, 1948.
- LOPES, A.J.; COX, F.R. A survey of the fertility status of surface soils under Cerrado vegetation of Brazil. **Soil Science Society American Journal**, v. 41, p. 752-757, 1977.
- LORENZI, H. **Árvores Brasileiras**: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 2. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1998.
- MALTA, P.G.; ARCANJO-SILVA, S.; RIBEIRO, C.; CAMPOS, N.V. *Rudgea viburnoides* (Rubiaceae) overcomes the low soil fertility of the Brazilian Cerrado and hyperaccumulates aluminum in cell walls and chloroplasts. **Plant and Soil**, v. 408, p. 369-384, 2016.
- NOGUEIRA, M.A.; BRESSAN, A.C.G.; PINHEIRO, M.H.O.; HABERMANN, G. Aluminum-accumulating Vochysiaceae species growing on a calcareous soil in Brazil. **Plant and Soil**, v. 437, p. 313-326, 2019.
- RAIJ, B.V.; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: Instituto Agronômico e Fundação IAC. **Boletim Técnico**, 100. 1996.
- RAIJ, B.V.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agronômico, 2001.
- RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F.; BRIDGEWATER, S. The Brazilian Cerrado Vegetation and Threats to its Biodiversity. **Annals of Botany**, v. 80, p. 223-230, 1997.
- RIBEIRO, J.F.; PROENÇA, C.E.B.; ALMEIDA, S.P. Potencial frutífero de algumas espécies nativas do cerrado. *In*: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 8., 1986, Brasília. **Anais da sociedade Brasileira de Fruticultura**. Brasília: EMBRAPA-DDT/CNPq, v. 2, p. 491-500, 1986.
- SANO, S. M.; ALMEIDA, S.P.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado**: ecologia e flora. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Brasília, 1998.
- SANTOS, F.A.M. Estrutura populacional de *Xylopia aromatica* (Lam.) Mart. e de *Roupala montana* Aubl. Em fragmentos de Cerrado no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 30, n. 3, p. 501-507, 2007.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H. P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba, ESALQ, 1974.

- SILBERBAUER-GOTTSBERGER, I.; GOTTSBERGER, G.; WEBBER, A.C. Morphological and functional flower characteristics of New and Old World Annonaceae with respect to their mode of pollination. **Taxon**, v. 52, n. 4, p. 701-718, 2003.
- SINGH, S.; TRIPATHI, D.K.; SINGH, S.; SHARMA, S.; DUBEY, N.K.; CHAUHAN, D.K.; VACULÍK, M. Toxicity of aluminium on various levels of plant cells and organism: A review. **Environmental and Experimental Botany**, v. 137, p. 177-193, 2017.
- SENTERRE, B. & OBIANG, D. Nouvelles découvertes à propôs des Vochysiaceae africaines: *Erismadelphus* Mildbr. et *Korupodendron* Litt & Cheek. **Taxonomania**. v. 17, p. 3-18, 2005.
- SHIMIZU, G. H. & YAMAMOTO, K. Flora da Serra do Cipó, Minas Gerais: Vochysiaceae. **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v. 30, p. 63-87. 2012.
- SOUZA, M.C.; BUENO, P.C.P.; MORELLATO, L.P.C.; HABERMANN, G. Ecological strategies of Al-accumulating and non-accumulating functional groups from the Cerrado sensu stricto. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, p. 813-823, 2015.
- SOUZA, M. C.; HABERMANN, G.; AMARAL, C.L.; ROSA, A.L.; PINHEIRO, M.H.O.; COSTA, F.B. *Vochysia tucanorum* Mart.: an aluminum-accumulating species evidencing calcifuge behaviour. **Plant and Soil**, v. 419, p. 377-389, 2017.
- VON UEXKÜLL, H.R.; MUTERT, E. Global extent, development and economic impact of acid soils. **Plant and Soil**, v. 171, p. 1-15, 1995.

Marina Zaia

Gustavo J. Berzaghi