

## Adaptação de *Tibouchina granulosa* Submetida à Aplicação de Alumínio

Kellem Freitas<sup>1</sup>, Walquíria Teixeira<sup>2</sup>, Evandro Fagan<sup>1</sup>, Jérssica Soares<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM, Patos de Minas/MG, Brasil

<sup>2</sup>Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP, Piracicaba/SP, Brasil

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a capacidade de adaptação de *Tibouchina granulosa* à aplicação de alumínio. O experimento foi conduzido em câmara de crescimento, utilizando o delineamento experimental inteiramente casualizado com 5 tratamentos (0 mg, 8 mg, 32 mg, 64 mg e 128 mg L<sup>-1</sup> de alumínio) e 7 repetições. As plantas foram influenciadas pela aplicação do alumínio nos primeiros 30 dias, o que ocasionou redução dos pigmentos fotossintéticos. No entanto, aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos foi verificado efeito positivo do alumínio, a aplicação de 8 mg L<sup>-1</sup> proporcionou o incremento de 34%, 71%, 56% e 35% no conteúdo de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides, respectivamente, em comparação com o tratamento controle. Portanto, houve adaptação das plantas de *Tibouchina granulosa* à aplicação de alumínio, mostrando também que essa espécie possivelmente pode ser utilizada para reflorestamento de áreas com solos com elevada concentração de alumínio.

**Palavras-chave:** pigmentos fotossintéticos, metal pesado, quaresmeira.

### *Tibouchina granulosa* Adaptation Under Aluminum Application

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the adaptability of *Tibouchina granulosa* aluminum application. The experiment was conducted in growth chamber using randomized blocks with 5 treatments (0 mg, 8 mg, 32 mg, 64 mg and 128 mg L<sup>-1</sup> of aluminum) and 7 repetitions. The plants were influenced by the application of aluminum in the first 30 days after application, being observed a reduction of photosynthetic pigments. However, 45 days after the treatments was observed positive effect of aluminum, also observed that the application of 8 mg L<sup>-1</sup> gave the increase of 34%, 71%, 56% and 35% chlorophyll content *a*, *b* total and carotenoids, respectively, compared to the control treatment. Therefore, *Tibouchina granulosa* plants adapted to the aluminum application, also showing that this species may possibly be used in areas of reforestation projects where the soil has high concentrations of aluminum, such as the cerrado soils.

**Keywords:** photosynthetic pigments, heavy metal, quaresmeira.

## 1. INTRODUÇÃO

A quaresmeira (*Tibouchina granulosa*), planta da família Melastomataceae, apresenta flores com tonalidades que vão do rosa ao roxo e grande potencial para ser utilizada como planta ornamental, principalmente em floração. Por isso, é recomendada em projetos paisagísticos, bem como na arborização de ruas estreitas e sob redes elétricas, sendo utilizada também em áreas de reflorestamento (Lorenzi, 2008).

A família Melastomataceae possui diversas espécies caracterizadas como tolerantes ou acumuladoras de alumínio. Essas espécies adquiriram essa característica ao longo dos anos por terem se estabelecido em solos do Cerrado, que possuem elevadas concentrações de alumínio (Haridasan, 2008; Teixeira, 2013). Muitas plantas cultivadas e plantas florestais são sensíveis à presença mesmo de uma pequena concentração de  $Al^{3+}$ . Contudo, espécies nativas podem utilizar estratégias de exclusão ou de absorção sem nenhum efeito prejudicial para seu crescimento vegetativo, reprodução ou funções metabólicas (Haridasan, 1987; Hartwing et al., 2007; Neri et al., 2012). Existem espécies que parecem ser incapazes de se desenvolver na ausência de Al, como é o caso da *Miconia albicans* Triana (Melastomataceae) e da *Vochysia thyrsoidea* Pohl, família das Vochysiaceae, duas espécies lenhosas do Cerrado (Watanabe et al., 2001; Haridasan, 2008).

O foco da maior parte dos estudos envolvendo o alumínio é seu efeito na germinação e desenvolvimento de espécies agrícolas (Marin et al., 2004; Macedo et al., 2011; Akhter et al., 2009; Yamashita & Guimarães, 2011), não sendo dada a devida atenção às espécies de famílias acumuladoras de alumínio, como Melastomataceae.

O uso de parâmetros fisiológicos como indicadores dos estresses, como, por exemplo, o estresse proporcionado por alumínio, é muito frequente nas pesquisas atuais (Marin & Santos, 2008; Carlin & Santos, 2009). As clorofilas, pigmentos cloroplastídicos essenciais na etapa fotoquímica da fotossíntese, também são avaliadas ante os efeitos de vários estresses nas plantas, sejam isolados (Lima et al., 2004), sejam combinados (Pshibytko et al., 2004).

Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de adaptação de plantas jovens de *Tibouchina granulosa* submetidas à aplicação de alumínio, por meio da avaliação dos pigmentos fotossintéticos (clorofilas *a*, *b*, total e carotenoides)

e massa seca de folhas, caules e raízes, que podem ser considerados indicadores fisiológicos do possível estresse proporcionado pelo alumínio tóxico no solo.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em câmara de crescimento localizada no Núcleo de Pesquisa em Fisiologia e Estresse de Plantas (NUFEP), do Centro Universitário de Patos de Minas (UNIPAM).

A câmara de crescimento apresentava prateleiras de 1 m de altura por 5 m de comprimento. Nelas, o estrato superior das plantas permaneceu à distância de 0,15 m do sistema de lâmpadas fluorescentes. As lâmpadas foram acionadas por um temporizador (*timer*), simulando fotoperíodo de 12 horas e radiação solar incidente de, aproximadamente,  $1000 \text{ W m}^{-2}$ . A temperatura da câmara de crescimento foi mantida em torno de  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  e a umidade relativa do ar, em 60%.

Foram utilizadas mudas de *Tibouchina granulosa* transplantadas em vaso plástico de  $11 \text{ dm}^3$  contendo areia lavada como substrato. As mudas foram irrigadas diariamente, de acordo com a capacidade de campo, evitando assim que o alumínio aplicado fosse lixiviado. Durante o desenvolvimento das plantas foi realizada a aplicação de solução nutritiva proposta por Johnson et al. (1957), sendo a aplicação realizada a cada 15 dias.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 5 tratamentos e 7 repetições. Os tratamentos consistiram de diferentes doses de alumínio (0 mg, 8 mg, 32 mg, 64 mg e  $128 \text{ mg L}^{-1}$ ), aplicadas por meio de solução uma semana após o transplante das mudas de *Tibouchina granulosa*. Essas doses foram definidas devido a dados encontrados na literatura que mostram que a concentração de alumínio que normalmente ocorre em solos típicos do Cerrado é de  $40 \text{ mg}$  a  $80 \text{ mg L}^{-1}$  (Teixeira, 2013), dessa forma, as dosagens foram determinadas em torno dessas concentrações. Foi utilizado como fonte de alumínio o hidróxido de alumínio ( $Al(OH)_3$ ).

As avaliações de teor de clorofila *a*, *b* e carotenoides foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias após a aplicação das doses de alumínio. Para isso foram coletadas folhas completamente expandidas do terço superior das plantas e dessas folhas foram obtidos 10 discos de 0,7 cm de diâmetro. Para a extração das clorofilas foram utilizados 5 discos de folhas, que foram colocados em tubos de ensaio contendo acetona 80%. A seguir os

tubos foram vedados, envolvidos com papel alumínio e mantidos por 72 horas sob refrigeração de 5 °C. Após a extração, foram realizadas as leituras de absorbância em espectrofotômetro a 470, 645 e 663 nm. O restante dos discos foram submetidos a secagem por 48 h em estufa a 65 °C para obtenção da sua massa seca.

O cálculo dos teores de clorofila (Equações 1 a 3) e carotenoides (Equação 4), expressos em mg g<sup>-1</sup> de massa seca, foram feitos de acordo com as equações propostas por Arnon (1949) e com os coeficientes de absorção propostos por Lichtenthaler (1987).

$$C_a = 12,25A_{663} - 2,79A_{645} \cdot \frac{V}{1000M} \tag{1}$$

$$C_b = 21,50A_{645} - 5,10A_{663} \cdot \frac{V}{1000M} \tag{2}$$

$$C_{total} = 7,15A_{663} + 18,71A_{645} \cdot \frac{V}{1000M} \tag{3}$$

$$C_{x+c} = \frac{1000A_{470} - 1,82C_a - 85,02C_b}{198} \cdot \frac{V}{1000M} \tag{4}$$

em que: *C<sub>a</sub>* = clorofila a (mg g<sup>-1</sup> de massa seca); *C<sub>b</sub>* = clorofila b (mg g<sup>-1</sup> de massa seca); *C<sub>total</sub>* = clorofila total (mg g<sup>-1</sup> de massa seca); *C<sub>x+c</sub>* = carotenoides (mg g<sup>-1</sup> de

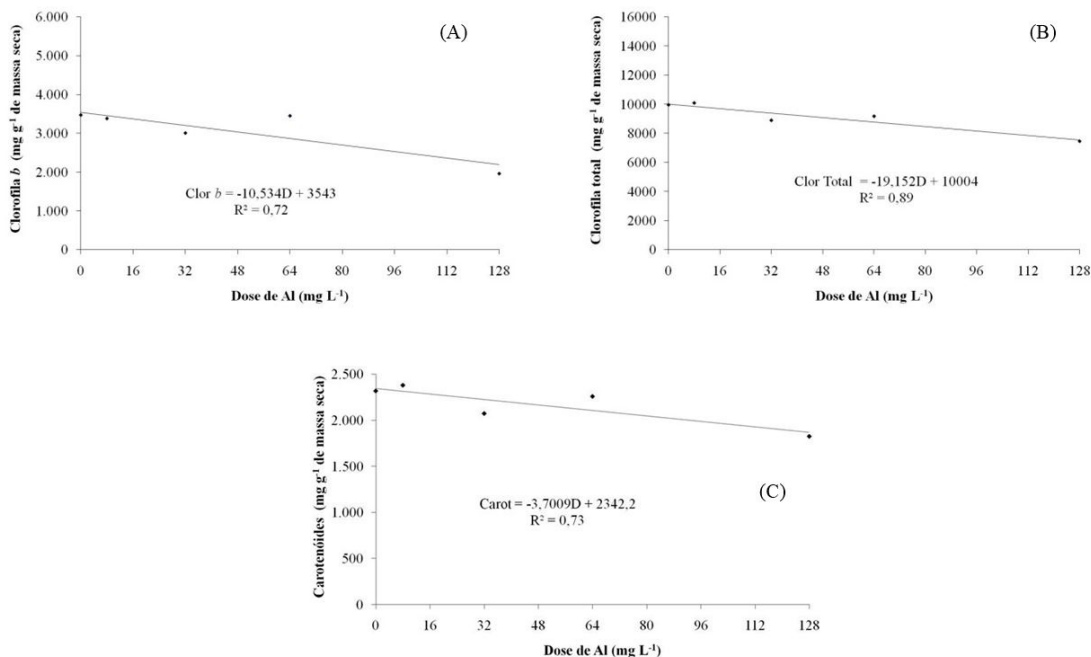
massa seca); *V* = volume da amostra (mL) e *M* = massa seca da amostra (g).

A obtenção de massa seca de raiz, caule e folhas foi realizada aos 130 dias após a aplicação dos tratamentos. Para a determinação da massa seca, cada órgão da planta foi acondicionado, separadamente, em saco de papel e a secagem das diferentes partes da planta foi realizada utilizando-se o método padrão de secagem em estufa com circulação de ar forçada, temperatura de 65 °C, por 2 dias, para obtenção de massa constante.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e, quando significativos, foram submetidos a análise de regressão ou, quando não ajustado o modelo de regressão, foi realizado o teste de Tukey, ambos por meio do programa estatístico Sisvar a 5% de significância.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O alumínio não afetou o conteúdo de clorofila *a* nas folhas das plantas de *Tibouchina granulosa* aos 15 dias após a sua aplicação. No entanto, observou-se redução do teor de clorofila *b* (Figura 1A), clorofila



**Figura 1.** Teores de clorofila *b* (A), total (B) e carotenoides (C) em folhas de *Tibouchina granulosa* aos 15 dias após a aplicação das doses de alumínio. Clor = clorofila; Carot = carotenoides; D = doses de alumínio.

**Figure 1.** Levels of chlorophyll *b* (A) total (B), and carotenoids (C) in *Tibouchina granulosa* leaves at 15 days after the application of doses of aluminum. Clor - chlorophyll, Carot - carotenoids, D - aluminum doses.

total (Figura 1B) e carotenoides (Figura 1C) a partir do aumento das doses de alumínio aplicadas.

A aplicação de 128 mg L<sup>-1</sup> de alumínio proporcionou a redução de 43% do teor de clorofila *b* em relação ao tratamento controle. Com relação ao conteúdo total de clorofilas, houve redução linear a partir do incremento das doses de alumínio, sendo observada a diminuição de até 25% na dose de 128 mg L<sup>-1</sup> de alumínio. O mesmo comportamento foi observado para o conteúdo de carotenoides nas folhas, sendo constatada redução de 25% do teor desse pigmento na maior dose de alumínio utilizada, em relação ao tratamento controle.

Aos 30 dias após a aplicação do alumínio também foi verificado efeito negativo desse metal sobre o conteúdo de pigmentos fotossintéticos (Figura 2), sendo constatada a redução linear dos pigmentos a partir do aumento das doses de alumínio.

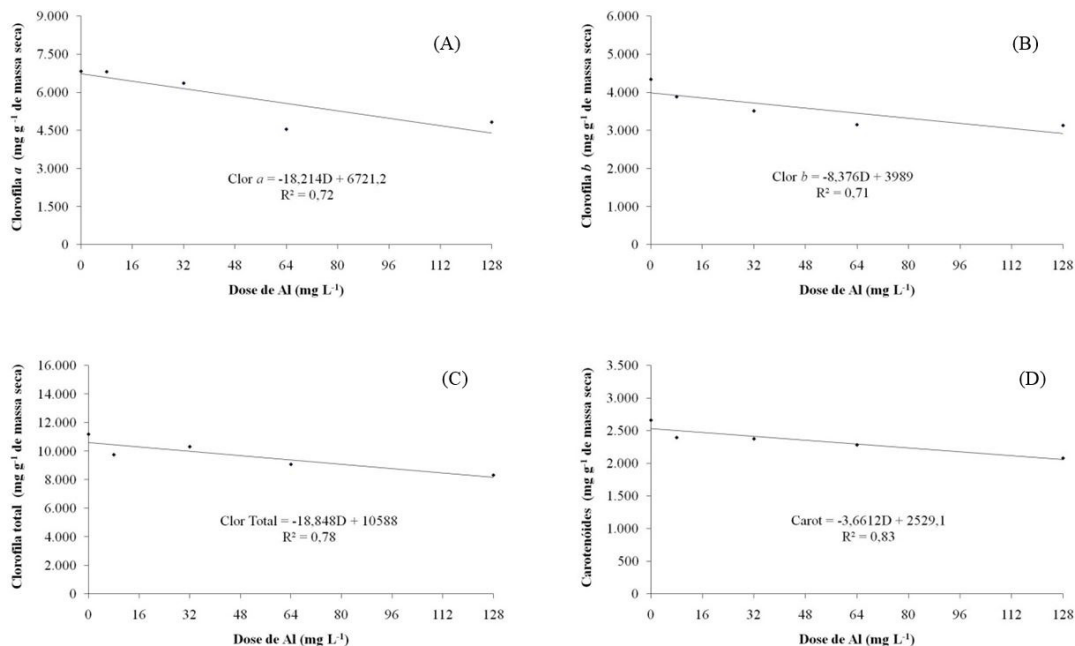
A maior dose de alumínio utilizada (128 mg L<sup>-1</sup>) proporcionou redução de 25%, 27%, 26% e 22% do conteúdo de clorofila *a* (Figura 2A), clorofila *b* (Figura 2B), clorofila total (Figura 2C) e carotenoides

(Figura 2D), respectivamente, em comparação com as plantas que não tiveram aplicação de alumínio.

Tais resultados observados em *Tibouchina granulosa* corroboram os evidenciados em plantas de Maria Preta (*Palicourea sp.*), (Paliwal & Sivaguru, 1994) e em *Canela Santa (Vochysia tucanorum)* (Yang & Zhang, 1998; Yang et al., 1999; Yang & Chen, 2001), todos esses autores observaram redução nos teores de clorofilas provocada pelo aplicação de alumínio.

No entanto, apesar de o alumínio ser considerado um elemento tóxico para diversas plantas, muitas espécies são capazes de excluir ou se adaptar a esse elemento, como, por exemplo, espécies da família Melastomataceae e Volchisiaceae (Haridasan, 1987, 2008).

As plantas de *Tibouchina granulosa* parecem ter se adaptado ao alumínio depois expostas a esse elemento por um certo período, pois aos 45 dias após a aplicação dos tratamentos não foram verificados efeitos negativos do alumínio nos pigmentos fotossintéticos (Tabela 1), além disso, a dose de 8 mg L<sup>-1</sup> proporcionou maior conteúdo de pigmentos fotossintéticos em relação aos demais tratamentos, esse incremento foi de 34%, 71%,



**Figura 2.** Teores de clorofila *a* (A), *b* (B), total (C) e carotenoides (D) em folhas de *Tibouchina granulosa* aos 30 dias após aplicação das doses de alumínio. Clor = clorofila; Carot = carotenoides; D = doses de alumínio.

**Figure 2.** Levels of chlorophyll *a* (A) *b* (B), total (C) and carotenoids (D) in *Tibouchina granulosa* leaves at 30 days after the application of doses of aluminum. Clor - chlorophyll, Carot - carotenoids, D - aluminum doses.

**Tabela 1.** Teores de clorofila *a*, *b*, total e carotenoides em folhas de *Tibouchina granulosa* aos 45 dias após aplicação das doses de alumínio.

**Table 1.** Levels of chlorophyll *a*, *b*, total and carotenoids (D) in *Tibouchina granulosa* leaves at 45 days after the application of doses of aluminum.

Dose de Al (mg L <sup>-1</sup> )	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Clorofila total	Carotenoides
	mg g <sup>-1</sup> de massa seca			
0	6,15 b*	3,12 b	9,27 b	2376,28 b
8	8,25 a	5,34 a	14,46 a	3207,04 a
32	6,94 ab	3,57 b	10,51 b	2633,90 ab
64	7,02 ab	3,91 b	10,93 b	2749,59 ab
128	6,14 b	3,75 b	9,89 b	2515,25 b
CV (%)	9,12	15,39	11,21	10,31

\*Médias seguidas por mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

56% e 35% para o conteúdo de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila total e carotenoides, respectivamente, em comparação com o teor de pigmentos das plantas que não foram submetidas a aplicação de alumínio.

Andrade et al. (2011) observaram que plantas da família Volchysiaceae são capazes de absorver e acumular alumínio, e que esse alumínio pode ser armazenado nos cloroplastos das folhas, sem prejuízos para elas. No entanto, não é possível explicar se esse alumínio pode atuar de alguma forma no metabolismo da planta. Os cloroplastos são as organelas citoplasmáticas onde ficam localizadas as clorofilas e o teor desse elemento foi incrementado sob baixas doses de alumínio em plantas de *Tibouchina granulosa*, o que mostra que esse metal pode de alguma forma afetar o conteúdo de clorofilas.

Outra evidência que mostra que o alumínio não afetou o desenvolvimento de plantas de *Tibouchina granulosa* foi a análise de massa seca das plantas, na qual não foi observado efeito significativo da aplicação de alumínio sobre o acúmulo de massa seca de raiz, caule e folhas (Tabela 2). Essa característica não foi observada por Fagan et al. (2011), que avaliaram o efeito da aplicação de doses de alumínio sobre o acúmulo de massa seca de raiz em mogno (*Swietenia macrophylla* King), observando que a dose de 8 mg L<sup>-1</sup> já foi suficiente para ocasionar a redução do crescimento de raiz da espécie.

Por outro lado, outros estudos mostram que algumas plantas apresentam respostas positivas à aplicação de baixas doses de alumínio. Clune & Copelan (1999) avaliaram o efeito da aplicação de alumínio em *Brassica nanus* e observaram que doses de 40 µM induziram maior desenvolvimento de raízes além do acréscimo do número de raízes laterais. Em *Melastoma*

**Tabela 2.** Massa seca das raízes (MSR), folhas (MSF) e caules (MSC) de plantas *Tibouchina granulosa*.

**Table 2.** Root dry mass (RDM), leaf dry mass (LDM) and stem dry mass (SDM) in plants of *Tibouchina granulosa*.

Dose de Al (mg L <sup>-1</sup> )	MSR (RDM)	MSF (LDM)	MSC (SDM)
	g planta <sup>-1</sup>		
0	0,74 ns	1,15	0,70
8	0,97	1,41	0,93
32	0,67	1,28	0,75
64	0,76	1,38	0,87
128	0,97	1,17	0,80
CV (%)	18,25	20,95	21,87

ns = não significativo.

*malabathricum*, dose de 5 µM também incrementou o desenvolvimento das raízes (Watanabe et al., 2005).

*Miconia albicans*, outra espécie da família das Melastomataceae, quando mantida em concentrações de 10 mg L<sup>-1</sup> de Al, uma concentração que inibe o crescimento da maioria das plantas cultivadas, apresenta um desenvolvimento mais adequado quando comparado ao de solos sem alumínio (Haridasan, 2008). Essa característica é descrita pelos autores como uma adaptação ao tipo de solo em que essas plantas são encontradas, que são solos do Cerrado, tipicamente ricos em alumínio.

Além disso, Rao et al. (2016) afirmam que ao longo de diversos anos algumas espécies foram selecionadas para sobreviver em ambientes com elevadas concentrações de alumínio, dessa forma, apenas genótipos resistentes ou tolerantes dessas espécies se perpetuaram. Esses mesmos autores ainda afirmam que essas espécies possuem mecanismos de

adaptação ao ou exclusão do alumínio, fazendo com que o mesmo não seja absorvido pelas raízes ou que, caso absorvido, seja armazenado em determinados compartimentos celulares sem ocasionar prejuízo ao desenvolvimento das plantas.

#### 4. CONCLUSÃO

Aplicação de alumínio em doses entre 0 mg a 128 mg L<sup>-1</sup> afeta o conteúdo de pigmentos fotossintéticos em *Tibouchina granulosa* apenas nos primeiros 30 dias após a aplicação. Após 45 dias de exposição a esse elemento, as plantas não são mais afetadas negativamente.

Essas características mostram a possível adaptação de *Tibouchina granulosa* à presença de alumínio no solo, evidenciando a sua capacidade de ser utilizada em projetos de restauração de áreas degradadas em locais que apresentam solos com elevada quantidade de alumínio.

#### STATUS DA SUBMISSÃO

Recebido: 5 set., 2016

Aceito: 1 out., 2016

#### AUTOR(ES) PARA CORRESPONDÊNCIA

##### Walquíria Teixeira

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ, Universidade de São Paulo – USP  
Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-970, Piracicaba, SP, Brasil  
e-mail: walquiria\_bio@hotmail.com

#### REFERÊNCIAS

- Akhter A, Khan SH, Hiroaki E, Tawaraya K, Rao IM, Wenzl P. Greater contribution of low-nutrient tolerance to sorghum and maize growth under combined stress conditions with high aluminum and low nutrients in solution culture simulating the nutrient status of tropical acid soils. *Soil Science and Plant Nutrition* 2009; 55(3): 394-406. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1747-0765.2009.00372.x>.
- Andrade LRM, Barros LMG, Echevarria GF, Amaral LIV, Cotta MG, Rossatto DR et al. Al-hyperaccumulator Vochysiaceae from the Brazilian Cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. *Environmental and Experimental Botany* 2011; 70(1): 37-42. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2010.05.013>.
- Arnon DI. Copper enzymes in isolated chloroplasts Polyphenoloxidase in *Beta vulgaris*. *Plant Physiology* 1949; 24(1): 1-15. PMID:16654194. <http://dx.doi.org/10.1104/pp.24.1.1>.
- Carlin SD, Santos DMM. Indicadores fisiológicos da interação entre déficit hídrico e acidez do solo em cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2009; 44(9): 1106-1113. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2009000900006>.
- Clune TS, Copelan L. Effects of aluminium on canola roots. *Plant and Soil* 1999; 216(1): 27-33. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1004789014255>.
- Fagan EB, Andrade AT, Martins FHE, Casaroli D, Teixeira WF. Alumínio em plantas cultivadas no Cerrado: adaptação e toxidez. *Informe Agropecuário* 2011; 32(260): 57-66.
- Haridasan M. Nutrição mineral de plantas nativas do Cerrado. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal* 1987; 12(1): 54-64.
- Haridasan M. Nutritional adaptations of native plants of the Cerrado biome in acid soils. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 2008; 3(20): 183-195. <http://dx.doi.org/10.1590/S1677-04202008000300003>.
- Hartwing I, Oliveira AC, Carvalho FIF, Bertan I, Silva JAG, Schmidt DAM et al. Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. *Ciências Agrárias* 2007; 28(2): 219-228.
- Johnson CM, Stout PR, Broyer TC, Carlton AB. Comparative chlorine requirement of different plant species. *Plant and Soil* 1957; 8(3): 337-353. <http://dx.doi.org/10.1007/BF01666323>.
- Lichtenthaler HK. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology* 1987; 148(1): 350-382. [http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](http://dx.doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1).
- Lima MGS, Lopes NF, Bacarin MA, Mendes CR. Efeito do estresse salino sobre a concentração de pigmentos e prolina em folhas de arroz. *Bragantia* 2004; 63(3): 335-340. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000300003>.
- Lorenzi H. *Árvores brasileiras: manual de Identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. 4. ed. Nova Odesa: Instituto Plantarum; 2008.
- Macedo FL, Pedra WN, Silva SA, Barreto MCV, Silvamann R. Efeito do alumínio em plantas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), cultivadas em solução nutritiva. *Semina. Ciências Agrárias* 2011; 32(1): 157-164.
- Marin A, Santos DMM, Banzatto DA, Ferraudo AS. Germinação de sementes de guandu sob efeito da disponibilidade hídrica e de doses subletais de alumínio. *Bragantia* 2004; 63(1): 13-24. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052004000100002>.
- Marin A, Santos DMM. Interação da deficiência hídrica e da toxicidade do alumínio em guandu cultivado em hidroponia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 2008;

- 43(10): 1267-1275. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2008001000003>.
- Neri AV, Shaefer CEGR, Silva AF, Souza AL, Ferreira-Júnior WG, Meira-Neto JAA. The influence of soils on the floristic composition and community structure of an area of Brazilian cerrado vegetation. *Edinburgh Journal of Botany* 2012; 69(1): 1-27. <http://dx.doi.org/10.1017/S0960428611000382>.
- Paliwal K, Sivaguru M. Indirect effects of aluminum on the reflectance properties of rice cultivars differing in aluminum tolerance. *Journal of Plant Nutrition* 1994; 17(6): 883-897. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169409364775>.
- Pshibytko NL, Kalitukho LN, Zhavoronkova NB, Kabashnikova LF. The pool of chlorophyllous pigments in barley seedlings of different ages under heat shock and water deficit. *Russian Journal of Plant Physiology: a Comprehensive Russian Journal on Modern Phytophysiology* 2004; 51(1): 15-20. <http://dx.doi.org/10.1023/B:RUPP.0000011298.49731.f5>.
- Rao IM, Miles JW, Beebe SE, Horst WJ. Root adaptations to soils with low fertility and aluminum toxicity. *Annals of Botany* 2016; 117(7): 1-13. PMID:27255099.
- Teixeira WF. *Fisiologia e bioquímica de plantas da família Melastomataceae, Estação Ecológica do Panga, Uberlândia, MG* [dissertação]. Uberlândia: Instituto de Biologia, Universidade Federal de Uberlândia; 2013.
- Watanabe T, Jansen S, Osaki M. The beneficial effect of aluminum and the role of citrate in Al accumulation in *Melastoma malabathricum*. *The New Phytologist* 2005; 165(3): 773-780. PMID:15720688.
- Watanabe T, Osaki M, Tadano T. Al uptake kinetics in roots of *Melastoma malabathricum* L., an Al accumulator plant. *Plant and Soil* 2001; 231(1): 283-291. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1010365607325>.
- Yamashita OM, Guimarães SC. Germinação de sementes de *Conyza canadensis* e *C. bonariensis* em função da presença de alumínio no substrato. *Ciência Rural* 2011; 41(1): 599-601. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782011000400008>.
- Yang YH, Chen SM, Chen Z, Zhang HY, Shen HG, Hua ZC et al. Silicon effects on aluminum toxicity to mungbean seedling growth. *Journal of Plant Nutrition* 1999; 22(4-5): 693-700. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169909365664>.
- Yang YH, Chen SM. Physiological effects of aluminum calcium ratios on aluminum toxicity to mungbean seedling growth. *Journal of Plant Nutrition* 2001; 24(3): 585-597. <http://dx.doi.org/10.1081/PLN-100104982>.
- Yang YH, Zhang HY. Boron amelioration of aluminum toxicity in mungbean seedlings. *Journal of Plant Nutrition* 1998; 21(5): 1045-1045. <http://dx.doi.org/10.1080/01904169809365463>.