

# Crescimento, distribuição e acumulação de cádmio em plantas de *Jatropha curcas*

## Growth, distribution and content of cadmium in *Jatropha curcas* plants

Lucia Helena G. Chaves e Ramara S. Souza

Departamento de Engenharia Agrícola, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 58429-140, Campina Grande, PB, Brasil. E-mail: lhgarofalo@hotmail.com, author for correspondence.

Recebido/Received: 2014.01.23  
Aceitação/Accepted: 2014.03.11

### RESUMO

Pesquisas referentes à extração de metais pesados por plantas de pinhão-mansão (*Jatropha curcas*) ainda são incipientes. Com a perspectiva dessa planta ser utilizada na recuperação de solos contaminados, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do cádmio (Cd) no crescimento do pinhão-mansão e a acumulação e distribuição desse metal na planta. O delineamento experimental utilizado, inteiramente casualizado, consistiu em cinco doses de Cd (0, 10, 20, 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>) e três repetições. Aos 90 dias após a sementeira, foram avaliados a altura da planta, o diâmetro caulinar e a área foliar. No final do ensaio as plantas foram colhidas, o material vegetal separado em raízes, caules e folhas e matéria seca de cada parte da planta avaliada bem como os teores de Cd nos tecidos vegetais. Durante o período experimental, o Cd interferiu significativamente no crescimento do pinhão-mansão reduzindo a altura, o diâmetro caulinar, a área foliar e a produção de biomassa. A acumulação de Cd nas plantas obedeceu à seguinte ordem: raiz > caule > folha. O índice de translocação do Cd para a parte aérea diminuiu com o aumento do Cd aplicado.

**Palavras-chave:** pinhão-mansão; fitorremediação, metais pesados

### ABSTRACT

Studies concerning the extraction of heavy metals by *Jatropha curcas* are still preliminary and incomplete. As this plant may be used in the phytoremediation of polluted soils, a study was conducted to evaluate the effect of cadmium (Cd) in the initial growth of *J. curcas* and in the uptake and distribution of this element in this plant. The experiment was carried out in a completely randomized design with five Cd application rates (0, 10, 20, 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>) and three replications. Plant height, stem diameter and leaf area were measured 90 days after sowing. At the end of this period, plants were harvested and separated into roots, stems and leaves; the dry matter of each plant part and the concentrations of Cd in plant tissues were evaluated. During the experimental period, Cd affected the growth of *J. curcas* significantly reducing height, stem diameter, leaf area and dry biomass. The accumulation of Cd followed the order: root > stem > leaf. The index of Cd translocation to shoots was lower when Cd was applied at higher rates.

**Key-words:** *Jatropha curcas* L., phytoremediation, heavy metal.

### Introdução

A disposição inadequada de resíduos urbanos e industriais em solos agrícolas é a principal fonte de entrada de metais pesados no solo. O cádmio (Cd), por exemplo, um metal altamente tóxico, é frequentemente descartado de forma inapropriada no ambiente, podendo atingir o solo ou o ar através da queima de resíduos urbanos e de combustíveis fósseis, poluindo assim o ambiente e ocasionando danos ao ecossistema (Pino, 2005). A remoção deste metal do ambiente pode ser realizada por meio de várias técnicas de re-

mediação, como por exemplo a fitorremediação. Esta é uma técnica de limpeza de solos, águas e sedimentos contaminados com metais pesados ou compostos orgânicos, com baixo custo para áreas moderadamente contaminadas, utilizando uma planta como agente remediador (Weis e Weis, 2004). As plantas remediadoras consideradas acumuladoras de metais são naturalmente capazes de acumular metais pesados, como o Cd, nos seus tecidos sem desenvolver qualquer sintoma de toxicidade. A concentração desse elemento na biomassa seca da folha, pode ser até 100 vezes maior do que as concentrações no solo.

O pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.) é uma oleagino-sa pertencente à família das *Euphorbiaceae*, apropriada ao cultivo em região semi-árida devido a sua rusticidade e resistência às condições adversas de clima e solo (Saturnino *et al.*, 2005; Dias *et al.*, 2007). O óleo extraído das suas sementes serve para dar lustro e envernizar móveis, e é também utilizado em saboaria, indústria de tintas, como combustível nos motores diesel e no fabrico de biodiesel (Laviola e Dias, 2008). Esta espécie tem sido usada como cerca viva e vem sendo plantada com sucesso, visando o controle da erosão e a contenção de encostas e dunas, sendo apontada como uma planta capaz de recuperar áreas degradadas (Saturnino *et al.*, 2005). Além disso, a sobrevivência e adaptação do pinhão-mansão em solos contaminados por metais pesados, funcionando como planta fitoextratora desses metais, tem sido estudada devido ao facto desta espécie não ser utilizada na alimentação humana.

De acordo com Chaves *et al.* (2010), esta espécie mostrou ser tolerante ao Zn e Cu do solo em concentrações superiores a 75 e 50 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. Da mesma forma Chaves *et al.* (2010) e Camargo *et al.* (2013) observaram que a acumulação de Zn nas folhas de pinhão-mansão foi maior do que a acumulação de Cu quando foi aplicado biossólido na produção de mudas.

Existe pouco informação sobre o comportamento das plantas de pinhão-mansão quando cultivadas em solos com altos teores de Cd e a possibilidade desta planta vir a ser utilizada na fitorremediação destes solos. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar o efeito deste elemento no crescimento inicial da planta quando submetida a teores elevados do mesmo e a acumulação e distribuição do Cd na planta.

## Material e Métodos

O ensaio foi realizado em estufa pertencente à Unidade Académica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, Brasil, no período de julho a outubro de 2011, utilizando-se vasos de plásticos de 10 L de capacidade que foram preenchidos com 8,6 kg de substrato. O mesmo era constituído de solo franco arenoso, classificado como Neossolo Quartzarênico (Embrapa, 1999), colhido na camada superficial do solo (0-0,20 m de profundidade), tendo como atributos químicos, de acordo com a metodologia descrita por Embrapa (1997), pH (H<sub>2</sub>O) = 6,4; Ca = 1,08 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Mg = 0,82 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Na = 0,07 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; K = 0,18 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; H = 3,85 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; Al = 0,2 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>; matéria orgânica = 4,8 g kg<sup>-1</sup>; P = 4,6 mg kg<sup>-1</sup>.

O ensaio foi instalado num delineamento inteiramente casualizado, com três repetições e cinco doses de Cd (0, 10, 20, 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>), na forma de sulfato de cádmio, perfazendo o total de quinze unidades experimentais.

O substrato foi incubado com Cd por um período de 25 dias, mantendo a humidade a 50% de capacidade máxima de retenção de água. Após este período foi aplicado em cada unidade experimental ureia (1,91 g N/unidade experimental), superfosfato triplo (5,61 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/unidade experimental) e cloreto de potássio (2,08 g K<sub>2</sub>O/unidade experimental). A adubação fosfatada foi aplicada toda em adubação de fundo e as adubações potássica e azotada foram distribuídas da seguinte forma: metade das quantidades de K e de N foram aplicadas aos 28 dias após a sementeira (DAS), e o restante aos 52 DAS.

Cada unidade experimental recebeu cinco sementes de pinhão-mansão, tendo permanecido após o primeiro e o segundo desbaste, realizados 20 e 30 DAS, duas e uma planta por unidade, respectivamente.

Durante todo o período experimental (90 dias), o solo foi mantido com humidade corresponde a 80% da capacidade máxima de retenção de água, tendo sido monitorizada diariamente pelo método de pesagens.

Aos 90 DAS, foram avaliadas a altura caulinar, medida desde a cicatriz cotiledonar da planta até a inserção da última folha; o diâmetro caulinar, medido na região do colo da planta com uso de paquímetro; o número e comprimento das folhas, tendo como critério para a contagem das mesmas o comprimento mínimo de 0,03 m. A área foliar (AF) foi calculada de acordo com o método de Wendt (1967), utilizando a equação  $\log(Y) = \Sigma\{-0,346 + [2,152 \times \log(X)]\}$ , sendo Y a área foliar em cm<sup>2</sup> e X o comprimento da nervura central da folha em cm.

No final do ensaio, as plantas foram colhidas, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas, os quais, depois de lavados em água destilada e secos em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, foram pesados e moídos em moinho tipo Wiley. Posteriormente, efetuou-se a digestão nitroperclórica do material para determinação, nos extratos, de Cd por espectrofotometria de absorção atómica. Os teores deste elemento presentes nos substratos também foram determinados por espectrofotometria de absorção atómica.

A acumulação (A) de Cd nas folhas, caules e raízes das plantas (mg) foi calculado pela expressão  $A = (MSC, \text{ ou } MSF \text{ ou } MSR \text{ (mg)} \times \text{concentração do elemento (mg kg}^{-1}\text{)}) / 1000$ , onde MSC representa a massa seca dos caules, MSF a massa seca das folhas, e MSR a massa seca das raízes. A quantidade total

de Cd acumulada na planta foi calculada pelo somatório das quantidades acumuladas deste elemento em cada parte da planta. De acordo com Paiva *et al.* (2002) calculou-se o índice de translocação (IT) do elemento, expresso em percentagem, pela relação  $IT = (\text{Quantidade acumulada na parte aérea} / \text{Quantidade acumulada na planta}) \times 100$ .

Os dados foram analisados através da análise de variância e análise de regressão, utilizando-se o programa Assistat versão 7.5 beta (Silva e Azevedo, 2009).

## Resultados e Discussão

A maior dose de Cd provocou uma diminuição significativa na altura das plantas, diâmetro caulinar, número de folhas e área foliar de 31, 37, 31 e 37%, respectivamente, em relação à testemunha, mas não influenciou o número de folhas (Quadro 1).

Em geral, as plantas submetidas às doses crescentes do metal tiveram o seu crescimento afetado negativamente, sinalizando a fitotoxicidade da espécie ao metal utilizado. Uma das razões da redução da altura da planta, diâmetro caulinar e área foliar é a redução da taxa de fotossíntese, em função do efeito de Cd nas plantas, devido a redução da condutância estomática (Barcelo e Poschenrieder, 1990). A menor abertura estomática pode reduzir a disponibilidade de dióxido de carbono para a fotossíntese acarretando a redução de suas taxas de crescimento. Além disso, a presença de Cd afeta a absorção, transporte e uso de macronutrientes como o S (Jiang *et al.*, 2005), Ca, P e K, bem como da água (Das *et al.*, 1997),

prejudicando, desta forma, o crescimento das plantas.

O caule foi a parte da planta mais atingida pelas doses crescentes de Cd (Quadro 2). A maior dose de Cd causou redução de 74, 62 e 56% nas biomassas secas do caule, das raízes e das folhas, respectivamente, em relação à testemunha, corroborando Marques *et al.* (2000). Estes autores constataram que a produção de matéria seca da parte aérea de espécies arbóreas foi influenciada pela contaminação do solo com Cd, onde algumas espécies tiveram o seu crescimento comprometido, como a *Hymenaea courbaril* L. e *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. Da mesma forma, Cupertino (2006) observou que na seringueira *Hevea brasiliensis* [Willd. Ex. ADR. de Juss.] Muell.-Arg., cultivada na presença de Cd, houve inibição do crescimento da raiz e da parte aérea, redução na produção de massa seca em todos os órgãos da planta, queda na taxa de fotossíntese e na resistência estomática. No entanto, Zeitouni *et al.* (2007) não verificaram diferenças significativas na produção de massa seca da parte aérea das plantas de tabaco e pimenta em nenhum dos tratamentos com Cd, Pb, Cu, Ni e Zn, até 1,5; 12,5; 40; 17,5 e 125 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

A adição de doses crescentes de Cd ao solo fez com que houvesse acréscimo nos teores e, consequentemente, na acumulação de Cd em todas as partes das plantas, quando comparadas com a testemunha; observou-se um aumento de 16% (correspondente ao tratamento 30 mg dm<sup>-3</sup>), 297% (correspondente ao tratamento 30 mg dm<sup>-3</sup>) e 6452% (correspondente ao tratamento 20 mg dm<sup>-3</sup>) nos teores de Cd nas folhas, caules e raízes, respectivamente, em relação à tes-

**Quadro 1** – Análises de variância e médias para a altura de planta (AP), diâmetro caulinar (DC), número de folhas (NF) e área foliar (AF) das plantas de pinhão-mansão em função das doses de cádmio

Fonte de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO			
		Altura de planta	Diâmetro caulinar	Número de folhas	Área foliar
Tratamentos	4	66,24**	0,51**	11,90 ns	193,62*
Resíduos	10	9,53	0,04	4,73	56,96
CV %		3,97	10,18	16,65	17,94
Doses de Cd (mg dm <sup>-3</sup> )		Média			
		cm	cm	unidade	cm <sup>2</sup>
0		29,53a	2,60a	16,00a	55,90a
10		23,77ab	1,97b	14,00a	38,60ab
20		18,37b	1,65b	12,67a	41,31ab
30		18,40	1,67b	11,67a	39,31ab
40		20,47b	1,63b	11,00a	35,2b
DMS		8,31	0,52	5,85	20,30

\*, \*\* = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns = Não significativo. GL – graus de liberdade

**Quadro 2** – Análises de variância e médias para a biomassa seca do caule, folha, raiz e biomassa seca total das plantas de pinhão-mansão em função das doses de cádmio

Fonte de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO			
		Biomassa Seca			
		Caule	Folha	Raiz	Total
Tratamentos	4	37,38**	9,92ns	8,16*	122,63**
Resíduos	10	6,23	8,89	0,92	20,17
CV %		44,48	56,49	26,34	30,90
Doses de Cd (mg dm <sup>-3</sup> )		Média (g)			
0		10,5a	7,72a	6,50a	24,77a
10		8,15ab	4,98a	3,60b	16,73ab
20		3,07b	6,48a	2,72b	11,66b
30		3,57b	3,39a	2,96b	9,92b
40		2,71b	3,82a	2,46b	9,61b
DMS		6,71	8,02	2,58	12,08

\*, \*\* = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns = Não significativo.  
GL – graus de liberdade

temunha, apesar dos tratamentos de Cd não terem efeito significativo nos teores deste elemento nas folhas das plantas (Quadro 3). Os teores encontrados nas folhas e caules das plantas de pinhão-mansão ficaram dentro da faixa considerada crítica em plantas, de 5 a 30 mg kg<sup>-1</sup> (Kabata-Pendias e Pendias, 2010), podendo ocorrer toxicidade nas mesmas. Segundo Lombi *et al.* (2001) a imobilização de Cd externamente, ou na raiz, pode ser uma das primeiras barreiras de defesa da planta contra a toxicidade a este metal pesado. Em geral, os níveis de Cd são maiores nas raízes do que nas folhas, acumulando principalmente no vacúolo ou parede celular, sendo baixo o nível de transporte deste para a parte aérea (Milner e Kochian, 2008). Esta conclusão está de acordo com os resultados apresentados no Quadro

3, ou seja, o maior teor de Cd bem como a maior acumulação ocorreram nas raízes, corroborando Kim *et al.* (2003) relativamente ao efeito de Cd em mudas de *Pinus sylvestris* L. e Izadiyar e Yargholi (2010) que observaram maior acumulação de Cd nas raízes de sorgo, milho, girassol, espinafre e linhaça. De acordo com Grant *et al.* (1998) a maior acumulação de Cd nas raízes parece ser resultado da ligação do Cd às cargas negativas das paredes celulares do sistema radicular em detrimento de uma maior absorção, e posterior transferência para a parte aérea. Comparando-se a raiz com a parte aérea, observou-se que há uma grande diferença nas concentrações de Cd (Quadro 3). Através destes dados pode-se deduzir que o metal se transloca muito pouco na planta, dada a diferença expressiva do contaminan-

**Quadro 3** – Análises de variância, concentrações e acumulação de cádmio encontrado nas folhas, caule e raízes das plantas de pinhão-mansão, em função das doses de cádmio

Fonte de Variação	GL	QUADRADO MÉDIO						
		Concentração			Acumulação			Acumulação Total
		Folha	Caule	Raiz	Folha	Caule	Raiz	
Tratamentos	4	0,65ns	62,44**	58665,43**	0,00021ns	0,00033ns	0,42**	0,398**
Resíduos	10	0,75	8,77	643,50	0,00014	0,00022	0,033	0,039
CV%		17,54	32,48	14,60	47,20	37,63	38,08	36,06
Doses de Cd (mg dm <sup>-3</sup> )		Média (mg kg <sup>-1</sup> )			Média (mg por planta)			
0		4,73a	3,98b	4,54b	0,037a	0,042a	0,029b	0,109b
10		4,47a	5,87b	39,32b	0,022a	0,045a	0,137b	0,204b
20		4,62a	9,66ab	297,48a	0,018a	0,029a	0,833a	0,880a
30		5,38a	15,80a	262,33a	0,018a	0,052a	0,771a	0,842a
40		5,49a	10,30ab	265,19a	0,029a	0,027a	0,649a	0,706a
DMS		2,33	7,97	46,19	0,021	0,027	0,335	0,360

\*, \*\* = Significativo no nível de 5% e 1%, de probabilidade pelo teste F, respectivamente. ns = Não significativo.  
GL – graus de liberdade



te encontrada nos dois compartimentos da planta. Assim, os índices de translocação do Cd para a parte aérea foram menores em relação aos tratamentos com doses maiores de Cd, cerca de 72,5; 33,2; 5,3; 8,5 e 7,9 % correspondentes às doses 0, 10, 20, 30 e 40 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, mostrando que houve maior acumulação deste elemento nas raízes das plantas.

O potencial de uma espécie vegetal para fitorremediar solos contaminados pode ser avaliado de diferentes maneiras. De acordo com Kukier *et al.* (2004), plantas hiperacumuladoras são espécies capazes de acumular altas quantidades de metais pesados nos seus tecidos, em concentrações de 10 a 100 vezes maiores do que as toleradas pelas plantas cultivadas. Uma planta hiperacumuladora de Cd pode ter mais de 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cd na parte aérea em comparação ao nível normal de 0,1 mg kg<sup>-1</sup> para a maioria das plantas (Marques *et al.*, 2000). Para plantas não acumuladoras, a exclusão de Cd da parte aérea e/ou das raízes e a retenção dos metais nas paredes celulares das raízes e nos vacúolos é uma defesa, minimizando a fitotoxicidade do metal.

## Conclusões

Durante o período experimental o cádmio interferiu no crescimento do pinhão-mansão de forma significativa reduzindo o seu crescimento em altura, diâmetro caulinar, área foliar e produção de fitomassa. A acumulação de Cd nas plantas de pinhão-mansão obedeceu à seguinte ordem: raiz > caule > folha, sugerindo que esta planta não é adequada para a fitoextração de Cd a partir de solos contaminados com este elemento.

## Referências Bibliográficas

- Barcelo, J. e Poschenrieder, C. (1990) - Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 13, n. 1, p. 1-37.
- Camargo, R.; Maldonado, A.C.D.; Dias, P.A.S.; Souza, M.F. e França, M.S. (2013) - Diagnóstico foliar em mudas de pinhão-mansão (*Jatropha Curcas* L.) produzidas com biossólido. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, n. 3, p. 283-290.
- Chaves, L.H.G.; Mesquita, E.F.; Araujo, D.L. e França, C.P. (2010) - Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-mansão. *Revista Ciência Agronômica*, vol. 41, n. 2, p. 167-176.
- Cupertino, I.C.F.S. (2006) - Respostas morfofisiológicas e nutricionais de plantas jovens de seringueira *Hevea brasiliensis* [Willd. Ex. ADR. de Juss.] Muell.-Arg.] cultivadas na presença de alumínio, cádmio, níquel e zinco. *Tese de Doutorado*. Lavras, Universidade Federal de Lavras. 116 p.
- Das, P.; Samantaray, S. e Rout, G.R. (1997) - Studies on cadmium toxicity in plants: a review. *Environmental Pollution*, vol. 98, n. 1, p. 29-36.
- Dias, L.A.S.; Leme, L.P.; Laviola, B.G.; Pallini, A.; Pereira, O.L.; Dias, D.C.F.S.; Carvalho, M.; Manfio, C.E.; Santos, A.S.; Sousa, L.C.A.; Oliveira, T.S. e Pretti, L.A. (2007) - *Cultivo de pinhão-mansão (Jatropha curcas L.) para produção de óleo combustível*. Viçosa, MG, UFV, 40 p.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997) - *Manual de métodos de análises de solo*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 212 p.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária (Embrapa). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1999) - *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 412 p.
- Grant, C.A.; Buckley, W.T.; Bailey, L.D. e Selles, F. (1998) - Cadmium accumulation in crops. *Canadian Journal of Plant Science*, vol. 78, n. 1, p. 1-17.
- Izadiyar, M.H. e Yargholi, B. (2010) - Study of Cadmium Absorption and Accumulation in Different Parts of Four Forages. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, vol. 9, n. 3, p. 231-238.
- Jiang, R.F.; Ma, D.Y.; Zhao, F.J. e Mcgrath, S.P. (2005) - Cadmium hyperaccumulation protects *Thlaspi caerulescens* from leaf feeding damage by thrips (*Frankliniella occidentalis*). *New Phytologist*, vol. 167, n. 3, p. 805-814.
- Kabata-Pendias, A. e Pendias, H. (2010) - *Trace elements in soils and plants*. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 432 p.
- Kim, C.G.; Bell, J.N.B. e Power, S.A. (2003) - Effects of soil cadmium on *Pinus sylvestris* L. seedlings. *Plant and Soil*, vol. 257, n. 3, p. 443-449.
- Kukier, U.; Peters, C.A.; Chaney, R.L.; Angle, J.S. e Roseberg, R.J. (2004) - The effects of pH on metal accumulation in two Alyssum species. *Journal of Environmental Quality*, vol. 33, n. 6, p. 2090-2102.
- Laviola, B.G. e Dias, L.A.S. (2008) - Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão mansão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, vol. 32, n. 5, p. 1969-1975.
- Lombi, E.; Zhao, F.J.; Mcgrath, S.P.; Young, S.D. e Sacchi, G.A. (2001) - Physiological evidence for

- a high-affinity cadmium transporter highly expressed in a *Thlaspi caerulescens* ecotype. *New Phytologist*, vol. 149, n. 1, p. 53-60.
- Marques, T.C.L.L.S.M.; Moreira, A.M.S. e Siqueira, J.O. (2000) - Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 35, n. 1, p. 121-132.
- Milner, M.J. e Kochian, L.V. (2008) - Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system. *Annals of Botany*, vol. 102, n. 1, p. 3-13.
- Paiva, H.N.; Carvalho, J.G.; Siqueira, J.O.; Miranda, J.R.P. e Fernandes, A.R. (2002) - Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel, e chumbo. *Revista Árvore*, vol. 26, n. 4, p. 467-473.
- Pino, G.A.H. (2005) - Bioissorção de metais pesados utilizando pó da casca de coco verde (*Cocos nucifera*). *Dissertação de Mestrado*. Rio de Janeiro, Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. 113 p.
- Saturnino, H.M.; Pacheco, D.D.; Kakida, J.; Tomimaga, N. e Gonçalves, N.P. (2005) - Cultura do pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). *Informe Agropecuário*, vol. 26, n. 229, p. 44-78.
- Silva, F.A.S. e Azevedo, C.A.V. (2009) - Principal components analysis in the software Assistat-Statistical Attendance. In: *World Congress on Computers in Agriculture*. Reno-NV-USA, American Society of Agricultural and Biological Engineers, p. 7.
- Weis, J.S. e Weis, P. (2004) - Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environment International*, vol. 30, n. 5, p. 685-700.
- Wendt, C.W. (1967) - Use of a relationship between leaf length and leaf area to estimate the leaf area of cotton (*Gossypium hirsutum* L.), castors (*Ricinus communis* L.), and sorghum (*Sorghum vulgare* L.). *Agronomy Journal*, vol. 59, n. 05, p. 484-486.
- Zeitouni, C.F., Berton, R.S. e Abreu, C.A. (2007) - Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. *Bragantia*, vol. 66, n. 4, p. 649-657.