

Especação do cádmio em *Brachiaria brizantha* e biodisponibilidade dos macro e micronutrientes

Speciation of cadmium in *Brachiaria brizantha* and bioavailability of macro and micronutrients

Terezinha Tolentino¹, Alexandre Bertoli¹, Ruy Carvalho¹, Ana Rosa Bastos², Maíra Pires¹

¹ Departamento de Química, Universidade Federal de Lavras, caixa postal 3037, CEP 37200-000, Lavras – MG, Brasil

² Departamento de Ciência dos Solos, Universidade Federal de Lavras, caixa postal 3037, CEP 37200-000, Lavras – MG, Brasil.

E-mail: bertolialexandre@yahoo.com.br, author for correspondence

Recebido/Received: 2014.02.05

Aceitação/Accepted: 2014.03.11

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência de Cd no teor, translocação de nutrientes e no crescimento em *Brachiaria brizantha*, foi montado um experimento em solução nutritiva nas condições da casa de vegetação do Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras. Utilizou-se as doses 0, 0,025, 0,50 e 1,00mg/L de Cd. O experimento foi realizado no delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições. Os resultados mostraram raízes como altos teores de nutrientes e Cd e partes aéreas com altos teores de Mg. Os teores de Ca foram maiores no tratamento-controle. As menores doses de Cd induziram aumento nos teores de Cu, Mn, Zn, Fe, N, P, K e S.. Os teores de K e Cd foram crescentes com aplicação de doses de Cd. O índice de translocação foi reduzido para Cu, Mn, Zn, Fe e N e aumentado para Ca, Mg e Cd. O S apresentou variações irregulares nos índices de translocação. Apesar das variações nos teores e translocação dos nutrientes, as doses de Cd utilizadas não causam alteração no crescimento de *Brachiaria brizantha*, fato atribuído à tolerância da planta ao metal pesado.

Palavras-chave: metal pesado, nutrientes, PCA.

ABSTRACT

In order to assess the influence of Cd on the content, translocation of nutrients and growth of *Brachiaria brizantha*, an experiment was set up in nutrient solution in a greenhouse in the Department of Soil Science, at Universidade Federal de Lavras. Cadmium was applied at 0, 0.025, 0.50 and 1.00 mg/L. The experiment was set up as a completely randomized design (CRD) with four replications. Data were submitted to principal component analysis (PCA). The results showed roots with high amounts of nutrients and Cd, and aboveground parts with high levels of Mg. Ca levels were higher in the control treatment. Smaller doses of Cd induced an increase in the levels of Cu, Mn, Zn, Fe, N, P, K and S. The levels of K and Cd increased with the application of Cd. The translocation rate decreased for Cu, Mn, Zn, Fe and N, and increased for Ca, Mg and Cd. Sulfur showed irregular variations in translocation rates. Despite variations in the levels and translocation of nutrients, the doses of Cd used do not cause changes in the growth of *Brachiaria brizantha*, a fact attributed to the plant tolerance to this heavy metal.

Keywords: Heavy metals; Nutrients, PCA.

Introdução

O cádmio está naturalmente presente na crosta terrestre em níveis baixos. Níveis elevados de Cd resultam de atividades de indústrias, fundições de metais, mineração, composto de lodo de esgoto e, em alguns casos, fertilizantes fosfatados (Soares *et al.*, 2005). O cádmio pode atingir as plantas pelo ar e água ou poluição do solo (Westfall *et al.*, 2005).

Efeitos tóxicos para o homem aparecem quando o teor nas plantas consumidas como alimento excedem 3 mg kg⁻¹ (Malavolta, 1980). De acordo com a ATSDR (2013), o cádmio é uma substância cancerígena que afeta os sistemas cardiovascular, gastrointestinal, neurológico, renal e as vias respiratórias. O Cd apresenta grande mobilidade, podendo apresentar maior risco ambiental, principalmente em solos com pouca matéria orgânica, baixos teores de

óxidos de ferro e com baixa capacidade de troca catiônica (Costa *et al.*, 2007).

Elementos tóxicos, como o Cd, podem ser absorvidos pelas plantas, quando estas se desenvolvem em ambiente contaminado (Kabata-Pendias, 2004). Nas plantas contaminadas por cádmio pode ocorrer inibição da germinação, alongamento da raiz e morte. Em estudos com *Eucalyptus muculata* e *E. urophylla*, há relatos de sintomas de fitotoxicidade, como murchamento de folhas, clorose interneval, morte das gemas apicais e redução do crescimento das folhas (Soares *et al.*, 2005). Devido aos prejuízos ambientais causados pelo cádmio, este trabalho objetivou avaliar o efeito de doses crescentes de cádmio no teor e translocação do próprio elemento, nos teores e translocação de nutrientes essenciais e no crescimento de plantas de *Brachiaria brizantha* cultivadas em solução nutritiva.

Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado em estufa do Departamento de Ciência do Solo e Laboratório do Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras-UFLA (MG).

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos e quatro repetições, sendo cada repetição representada por um vaso com uma planta, perfazendo, assim, um total de 20 plantas, num período experimental de 90 dias. Determinou-se a matéria seca (g) e os teores de Cd (mg kg⁻¹) na parte aérea e raízes das plantas. A análise de Cd e de micronutrientes foi realizada por espectrofotômetro de absorção atômica Varian, modelo SPECTRAA110. Os parâmetros utilizados são descritos no Quadro 1. A análise de macronutrientes foi feita utilizando um espectrofotômetro UV-Vis da Perkin Elmer, modelo lambda 25 para determinar enxofre e fósforo, e um fotôme-

Quadro 1 – Média dos valores de matéria seca da planta em função da aplicação de cádmio.

Doses de Cd (mg L ⁻¹)	Matéria seca (g)	
	Raízes*	Parte aérea*
Tratamento-controle	1,3470	4,8982
0,025	0,6241	5,7670
0,1	0,6241	5,0595
0,5	0,7163	5,0094
1,0	0,7478	4,2822

* Dados significativos a 5% de probabilidade de acordo com o teste de Scott-Knott.

tro de chama para determinar o potássio. O nitrogênio foi analisado por microdestilador Tecnal TE0363.

A produção de mudas foi realizada em bandejas de isopor em substrato orgânico Plantmax®. As mudas foram irrigadas diariamente e transplantadas quando atingiram cerca de 10 cm de altura. Então foi feito o transplante para a fase de adaptação, numa bandeja com solução de Hoagland (Hoagland; Arnon, 1950) permanecendo nessa condição por quatro semanas. Na primeira semana com 25% da concentração máxima da solução, na seguinte com 50% da concentração, na terceira com 75% da concentração e na quarta com 100%. Terminada a adaptação, o experimento foi montado em frascos individuais de polietileno com solução de Hoagland a 100%, incluindo a adição do Cd. As doses de Cd utilizadas neste experimento foram 0; 0,025; 0,10 e 0,50 e 1,00 mg L⁻¹, na forma de Cd(NO₃)₂·4H₂O.

No final do ensaio, raízes e partes aéreas foram separadas e secas em estufa a temperatura entre 65 e 70°C, até peso constante. Posteriormente, pesadas e trituradas em moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 cm².

A preparação das amostras foi feita a partir de uma digestão nitroperclórica na proporção de 2:1 (v/v) de HNO₃ e HClO₄. Foi utilizado 0,5 g de matéria seca e um volume de 6 mL da solução nitroperclórica. Em seguida, os teores dos nutrientes foram determinados conforme metodologia utilizada por Malavolta *et al.* (1997).

Os resultados dos macro e micronutrientes foram tratados com quimiometria através do software Chemoface (Nunes *et al.*, 2012). Foram analisadas 10 amostras oriundas das partes de *B. brizantha* contaminada com cada dose de Cd, sendo 5 amostras da parte aérea e 5 das raízes. Os valores médios referentes aos teores de nutrientes nas doses crescentes de cádmio foram organizados na forma matricial, com dimensões 10 (amostras) X 11 (variáveis). As variáveis referem-se aos nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn, Mn, Fe) e Cd. Os resultados foram avaliados com o a utilização de métodos quimiométricos de reconhecimento de padrões com emprego da análise em componentes principais (PCA). O pré-processamento usado foi o auto-escalado. Neste modelo, obteve-se os gráficos biplot.

Resultados e Discussão

Produção de matéria seca de Brachiaria brizantha

Não houve efeito significativo das doses de Cd no crescimento, uma vez que não houve variação signi-

ficativa na biomassa entre as amostras do controle e aquelas que receberam doses crescentes de Cd. Para Guo e Marschner (1995), a inibição do alongamento da raiz de diferentes espécies de plantas é o parâmetro mais sensível de toxicidade Cd. Neste caso, não foi observada diferença entre raízes das plantas do tratamento-controle e raízes das plantas contaminadas.

De acordo com Cobbett e Goldsbrough (2002), a capacidade das plantas em se manter expostas por tempo prolongado a Cd depende da capacidade das raízes em sintetizar fitoquelatinas, as quais têm sido identificadas em diversas espécies de plantas, sendo o indutor mais forte de acumulação de metais pesados.

Apenas na menor dose ($0,025 \text{ mgL}^{-1}$), o teor de biomassa da parte aérea foi superior ao do tratamento-controle. Em geral, a redução do crescimento de plantas deve-se à exposição a níveis tóxicos que resultam na redução generalizada nas taxas metabólicas. Assim pode-se inferir que o crescimento de *B. brizantha* não foi comprometido pelo metal nas doses utilizadas. Para Nascimento e Pereira (1997), no caso de estresse, a parte aérea é a mais afetada, possivelmente por induzir limitações na translocação de nutrientes.

Assim, os resultados para o crescimento de *B. brizantha* mostram que esta espécie demonstrou ser tolerante ao Cd nas doses aplicadas.

Teores de nutrientes e Cd

Através do gráfico da PCA observou-se que a análise em componentes principais permitiu a separação nítida das amostras de raiz e parte aérea (figura 1) e também permitiu verificar a influência do metal pesado na translocação dos nutrientes das raízes para partes aéreas (figura 2).

A figura 1 mostra a influência de Cd nos teores dos nutrientes nas raízes e partes aéreas de *Brachiaria brizantha*. Altos teores de Mg foram observados nas partes aéreas das plantas. Isso pode estar relacionada à sua função na composição da clorofila, ou seja, às porfirinas magnesianas (Faquin, 2005). Os teores de Mg não diferenciaram muito em relação ao tratamento-controle e às doses de Cd. Podemos inferir um decréscimo nas maiores doses de Cd pode ser atribuído à competição com os cátions do metal pesado (Mg^{2+} e Cd^{2+}).

Os teores de Ca foram maiores no tratamento-controle do que nas amostras que receberam doses de Cd. Estes resultados estão de acordo com os estudos com mostarda indiana em que Jiang *et al.* (2004), verificaram que o aumento das doses de Cd reduziu a absorção de Ca. Para Wang (1987), uma forte interação entre Ca e constituintes da parede celular

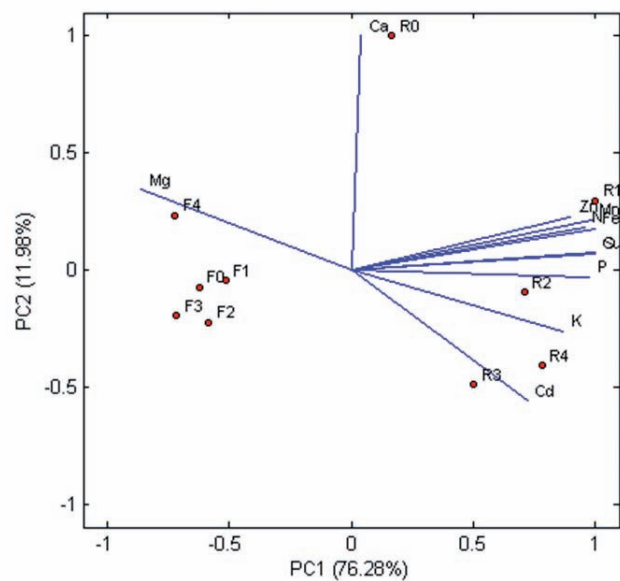


Figura 1 – Teor de nutrientes e de Cd (R-raiz e F-parte aérea; doses de Cd: 0-0,00; 1-0,025; 2-0,010; 3-0,05; 4-1,00 mgL^{-1}).

pode ser importante no fornecimento suficiente de Ca para a membrana plasmática para manter a sua integridade. Um aumento da concentração de Ca sob estresse seria um possível mecanismo para redução dos efeitos tóxicos de Cd. Uma diminuição da concentração de Ca sob toxicidade Cd pode ser um sintoma de um sistema de defesa intercelular interferindo nesse mecanismo. Isso indica que o Cd, mesmo nas menores doses, influenciou a absorção do cálcio.

Os altos teores radiculares de N, P e S podem ser explicados pelos mecanismos de proteção da planta, que evitam que o contaminante seja translocado para as partes aéreas. Permanecem no sistema radicular como compostos precipitados, insolúveis, como fosfatos.

Quanto aos teores de N, observa-se que houve um aumento na menor dose de Cd ($0,025 \text{ mg L}^{-1}$) e uma redução à medida que se aumentaram as doses do metal pesado. Os mecanismos envolvidos no aumento da tolerância ao Cd depois de abaixar a translocação de N como nitrato em brotos vegetais são desconhecidos (Gallego *et al.*, 2012). Outra possibilidade envolve um mecanismo mais geral de resposta ao estresse, relacionado a um aumento da produção de óxido nítrico (Quiao e Fan, 2008). Com efeito, o tratamento com Cd promove a síntese, nas raízes, de óxido nítrico (Groppa *et al.*, 2008).

Para o S, foram encontrados resultados semelhantes ao N. O aumento para o teor de S pode estar intimamente ligado com os mecanismos de formação de complexo fitoquelatina-Cd, responsável pelo sequestro vacuolar do metal (Cobbett e Goldsbrough,

2002). Neste mecanismo, as fitoquelatinas atuam como transportadores do elemento contaminador, carregando-o para compartimentos celulares, impedindo que o metal cause danos a estruturas importantes das células, a exemplo das enzimas (Guimarães *et al.*, 2008).

O P também aumentou seus teores com aplicação de doses de Cd, sendo este aumento mais significativo nas menores doses do metal. Esses resultados concordam com os estudos de Jiang *et al.* (2004) que observaram aumento no teor radicular de P com aplicações de Cd. Os autores sugerem um possível efeito sinérgico para explicar o aumento. O sinergismo estará no estímulo do Cd à precipitação de fosfatos radiculares, com solubilidade lenta e gradual em função do pH rizosférico.

Teores de K foram superiores ao do tratamento-controle, de maneira que podemos induzir que o Cd aumentou a absorção do K. Estes resultados concordam com Jiang *et al.* (2004), em estudos de nutrição com mostarda indiana, em que o aumento de doses de Cd aumentou o teor de K. Os autores sugerem que a membrana plasmática de células da raiz foi danificada a partir da exposição ao Cd. Assim, a permeabilidade da membrana alterada teria facilitado a absorção de K pelas raízes.

Os teores de Cu foram maiores na presença das menores doses de Cd. Resultado semelhante foi encontrado por Bertoli *et al.*, (2012) em estudo com tomateiro na presença de Cd. Em estudos realizados por Wang *et al.* (2007) com cultivares de milho na presença de Cd, algumas plantas apresentaram aumento no teor de Cu, enquanto outras tiveram redução. De acordo com Kabata-Pendias e Pendias (2001), a presença de Cd provoca interação com absorção de Cu podendo, em alguns vegetais ter um efeito sinérgico e, em outros, antagônico.

Comportamento semelhante ao do Cu ocorreu com os teores de Mn e Fe (apresentaram teores mais significantes nas menores doses do metal). Em estudos com *B. decumbens* o aumento de doses de Cd não teve nenhuma influência sobre as concentrações de nutrientes na parte aérea e tecido da raiz, com exceção de Mn que foi reduzido com o aumento das doses (Kopittke *et al.* 2010). Em pesquisas com tomateiro contaminado com Cd, (Lopez-Millan *et al.*, 2009) observaram aumento de Cu e diminuição progressiva de Mn.

Para o Zn, nas menores doses de Cd a absorção foi maior que nas maiores doses do metal. Segundo Faquin (2005), existe uma competição entre Zn e Cd na absorção da planta quando a concentração do primeiro é menor do que a de Cd. Efeitos competitivos entre elemento contaminante e nutriente em

solução nutritiva pode conter complexidades de interpretação difícil das respostas das plantas às interações Cd-Zn (Chaoui *et al.*, 1997).

Paiva *et al.* (2004) ressaltaram que a resposta de diversas espécies submetidas a ambientes contaminados por Cd é muito variável, sendo necessário testar o comportamento individual de cada espécie face à contaminação. Lopez-Millan *et al.* (2009) explicam que diferenças entre as espécies podem surgir de diferentes homeostases de micronutrientes e mecanismos de desintoxicação de Cd

Em relação ao Cd, observamos que seus teores foram maiores nas raízes, o que indica que a maior quantidade do metal ficou concentrado na raiz. O baixo transporte para a parte aérea pode ser considerado o possível mecanismo pelo qual o sistema radicular contribui para uma tolerância a metais pesados (Arduini *et al.*, 1996). Esse fato pode ser uma característica interessante do ponto de vista zootécnico: quanto menor a translocação do Cd para a parte aérea menor será a ingestão do elemento pelos animais. Os resultados concordam com Santos *et al.* (2006) que verificaram concentrações de metais nas partes aéreas de *B. decumbens* consideravelmente inferiores aos observados nas raízes.

Translocação de nutrientes e Cd

A Figura 2 mostra o gráfico biplot para translocação de nutrientes e Cd. Os resultados para N e Cu mostram que o índice de translocação destes foram crescentes apenas na menor dose do metal e decres-

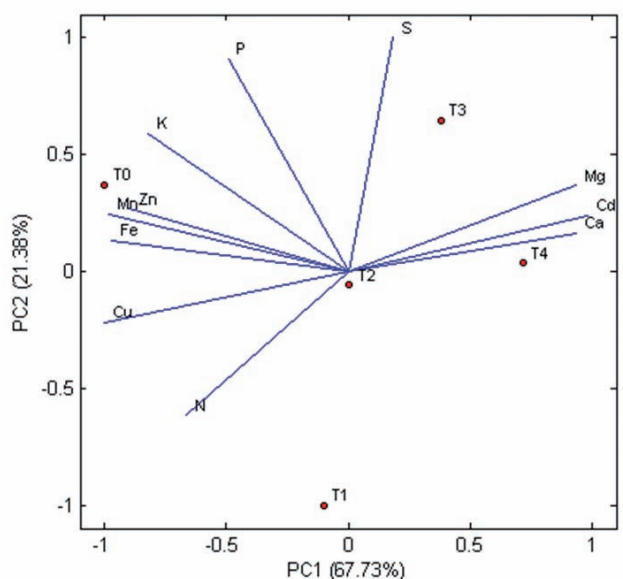


Figura 2 – Translocação de nutrientes e de Cd (Ti - translocação da raiz para parte aérea; doses de Cd: 0-0,00; 1-0,025; 2-0,010; 3-0,05; 4-1,00 mgL⁻¹).

centes com incremento das doses de Cd. Pahlsson, (1989) cita uma possível permanência de N nas raízes por inibição da enzima nitrato-redutase pelo Cd. Quanto ao Cu, os resultados estão de acordo com Obata e Umebayashi (1997), que verificaram que a presença de Cd restringiu a translocação de Cu para a parte aérea.

Para o P, S e K, no tratamento controle e na dose 0,5 mg/L de Cd houve os maiores valores da translocação e nas demais concentrações houve redução, mostrando então que houve efeito sinérgico em algumas doses e antagônico em outras.. Bertoli *et al.* (2012), verificaram o aumento na translocação de P para a parte aérea do tomateiro. A translocação de S pode ser estimulada ou inibida na presença de metais pesados, mostrando comportamento diferenciando entre as espécies (Yang *et al.*, 1996a,b). Já para Kabata-Pendias e Pendias, (1984), a presença de metais pesados, como o Cd, não exerce qualquer efeito sobre a translocação de S. Os estudos de Cannata *et al.* (2013) em plantas de feijão na presença de doses crescentes de Pb, observaram a redução dos índices de translocação do K.

O Cd estimulou a translocação de Ca, visto que seus índices aumentaram em função das doses de Cd. Já Yang *et al.* (1996a), verificaram redução na translocação deste nutriente em diversas espécies vegetais. Choi *et al.* (2001), explicam que o aumento de Ca nas partes aéreas pode estar relacionado com mecanismo de tolerância. Os índices de translocação para Mg aumentaram com as doses de Cd. Estes resultados concordam com Cannata *et al.* (2013) que, em vagens de feijoeiro, constataram um aumento linear do índice de translocação.

As doses de Cd reduziram a translocação de Cu, Zn, Mn e Fe. Outros estudos também mostraram redução na translocação de Mn em diferentes espécies vegetais (Yang *et al.*, 1996 a,b). Com relação à translocação de Fe, os resultados concordam com os estudos de Paiva *et al.* (2002), que, em plantas de cedro e ipê-roxo contaminadas com Cd, observaram a redução do índice de translocação de Fe.

Com relação ao índice de translocação para o Cd, observou-se que aumentou com o aumento das doses do elemento, indicando que nas doses aplicadas o metal se movimentou para as partes aéreas.

Estudos realizados por Cannata *et al.* (2013) demonstraram que concentrações de Cd até 1,0 mg L⁻¹ se mostraram inofensivas à algumas plantas como o rabanete. Segundo Gallego *et al.* (2012), as plantas utilizam várias estratégias para neutralizar o efeito inibidor do Cd. Pensa-se que a administração de nutrientes competitivos com o Cd é uma possível maneira de superar a sua toxicidade.

Conclusões

A partir dos resultados foi possível concluir que o Cd nas menores doses aumentou os teores de N, P, S, Cu, Mn, Zn e Fe. Teores de K e Cd aumentaram conforme a dose do metal. O Cd concentrou-se nas raízes, sendo que as doses crescentes deste metal reduziram o índice de translocação para N, Cu, Fe, Mn e Zn. Em contrapartida, o índice de translocação aumentou para Mg, Ca, e Cd. Já para os nutrientes S, P e K o índice de translocação mostrou-se irregular com as doses do metal. Os pesos da matéria seca não se diferenciaram, portanto, as doses de Cd não influenciaram no crescimento das plantas.

Agradecimentos

À CAPES, ao Departamento de Ciência do Solo e ao Departamento de Química da Universidade Federal de Lavras (MG).

Referências Bibliográficas

- ATSDR. *Toxic substances portal*. Disponível em: <http://www.atsdr.cdc.gov/>. acesso em 16 de setembro de 2013.
- Arduini, I.; Godbold, D.L. e Onnis, A. (1996) - Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. *Physiologia Plantarum*, vol. 97, n. 1, p. 111-117.
- Bertoli, A.C.; Cannata, M.G.; Carvalho, R. e Bastos, A.R.B.; Freitas, M.P.; Augusto, A.D. (2012) - *Lycopersicon esculentum* submitted to Cd-stressful conditions in nutrition solution: Nutrient contents and translocation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 86, n. 1, p. 176-181.
- Cannata, M.G.; Bertoli, A.C.; Carvalho, R.; Bastos, A.R.B.; Freitas, M.P.; Augusto, M.S. e Varennes, A. (2013) - Toxic metal in *Raphanus sativus*: assessing the levels of cadmium and lead in plants and damage to production. *Revista de Ciências Agrárias*, vol. 36, n. 4, p. 426-434.
- Cannata, M.G.; Carvalho, R.; Bertoli, A.C.; Bastos, A.R.B.; Carvalho, J.G.; Freitas, M.P. e Augusto, M.S. (2013) - Effects of lead on the content, accumulation, and translocation of nutrients in bean plant cultivated in nutritive solution. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 44, n. 5, p. 939-951.
- Chaoui, A.; Ghorbal, M.H. e Elferjani, E. (1997) - Effects of cadmium-zinc interactions on hydroponically grown bean (*Phaseolus vulgaris* L). *Plant*

- Science*, vol. 126, n.1, p. 21-28.
- Choi, Y.E.; Harada, E.; Wada, M.; Tsuboi, H.; Morita, Y.; Kusano, T. e Sano, H. (2001) - Detoxification of cadmium in tobacco plants: formation and active excretion of crystals containing cadmium and calcium through trichomes. *Planta*, vol. 213, n. 1, p. 45-50.
- Cobbett, C. e Goldsbrough, P. (2002) - Phytochelatins and metallothioneins: Roles in heavy metal detoxification and homeostasis. *Annual Review of Plant Biology*, vol. 53, p. 159-182.
- Costa, C.N.; Meurer, E.J.; Bissani, C.A. e Tedesco, M.J. (2007) - Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. *Ciência Rural*, vol. 37, n.5, p. 1323-1328.
- Faquin, V. (2005) - *Nutrição mineral de plantas*. Lavras, Brasil: Centro de Editoração/FAEPE.
- Gallego, S. M.; Pena, L. B.; Barcia, R. A.; Azpilicueta, C. E.; Iannone, M. F.; Rosales, E. P. e Benavides, M. P. (2012) - Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: Insight into regulatory mechanisms. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 83, p. 33-46.
- Groppa, M.D.; Rosales, E. P.; Iannone, M.F. e Benavides, M.P. (2008) - Nitric oxide, polyamines and Cd-induced phytotoxicity in wheat roots. *Phytochemistry*, vol. 69, n. 14, p. 2609-2615.
- Guimarães, M.A.; Santana, T.A.; Silva, E.Z.; Zenzen, I.L. e Loureiro, M.E. (2009) - Toxicidade e tolerância ao cádmio em plantas. *Revista Trópica - Ciências Agrárias e Biológicas*, vol. 1, n. 3, p. 58-69.
- Guo, Y. e Marschner, H. (1995) - Uptake, distribution and binding of cadmium and nickel in different plant species. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 18, n. 12, p. 2691-2706.
- Hoagland, D.R.; Arnon, D.R. (1950) - *The water culture methods for growing plants without soil*. (Bulletin. 347 ed.). Berkeley: California Agriculture Experiment Station. 39 p.
- Jiang, X.J.; Luo, Y. M.; Liu, Q.; Liu, S.L. e Zhao, Q. (2004) - G. Effects of cadmium on nutrient uptake and translocation by Indian Mustard. *Environmental Geochemistry and Health*, vol. 26, n. 2-3, p. 319-324.
- Kabata-Pendias, A. (2004) - Soil-plant transfer of trace elements-an environmental issue. *Geoderma*, vol. 122, n. 2-4, p. 143-149.
- Kabata-Pendias, A. e Pendias, H. (1984) *Trace elements in soils and plants*. Boca Raton. 432 p.
- Kabata-Pendias, A. e Pendias, H. (2001) - *Trace elements in soils and plants*. 2001. 315 p.
- Kopittke, P.M.; Blamey, F.P.C. e Menzies, N.W. (2010) - Toxicity of Cd to signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) and Rhodes grass (*Chloris gayana* Kunth.). *Plant and Soil*, vol. 330, n. 1-2, p. 515-523.
- Lopez-Millan, A.F.; Sagardoy, R.; Solanas, M.; Abadia, A. e Abadia, J. (2009) - Cadmium toxicity in tomato (*Lycopersicon esculentum*) plants grown in hydroponics. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 65, n. 2-3, p. 376-385.
- Malavolta, E. (1980) - *Elementos de Nutrição Mineral de Plantas*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 251 p.
- Malavolta, E.; Vitti, C.C. e Oliveira, S.A. (1997) - *Avaliação do estado nutricional das plantas*. Piracicaba: ESALQ USP. 319 p.
- Nascimento, C. W. A. e Pereira, I., B. M. (1997) - Absorção e distribuição de cádmio e micronutrientes em cultivares de feijoeiro expostas a doses de cádmio. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, vol. 32, n. 12, p. 1303-1308.
- Nunes, C.A.; Freitas, M.P.; Pinheiro, A.C. e Bastos, S.C.(2012) - Chemoface: A novel free user friendly interface for chemometrics. *Journal Brazilian Chemical Society*, vol. 23, n. 11, p. 2003-2010.
- Obata, H. e Umebayashi, M. (1987) - Effects of cadmium on mineral nutrient concentrations in plants differing in tolerance for cadmium. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 20, n. 1, p. 97-105.
- Pahlsson, A. M. B. (1989) - Toxicity of heavy-metals (Zn, Cu, Cd, Pb) to vascular plants - a literature-review. *Water Air and Soil Pollution*, vol. 47, n. 3-4, p. 287-319.
- Paiva, H.N.; Carvalho, J.G. e Siqueira, J.O. (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.
- Paiva, H.N.; Carvalho, J.G.; Siqueira, J. O.; Miranda, J.R.P. e Fernandes, A.R. (2004) - Nutrients absorption by seedlings of ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) in nutrient solution contaminated by cadmium. *Revista Árvore*, vol. 28, n. 2, p. 189-197.
- Quiao, W. e Fan, L.M. (2008) - Nitric oxide signalling in plant responses to abiotic stresses. *Journal of Integrative Plant Biology*, vol. 50, n. 10, p. 1238-1246.
- Santos, F.S.; Hernandez-Allica, J.; Becerril, J.M.; Amaral-Sobrinho, N., Mazur, N. e Garbisu, C. (2006) - Chelate-induced phytoextraction of metal polluted soils with *Brachiaria decumbens*. *Chemosphere*, vol. 65, n. 1, p. 43-50.
- Soares, C. R. F. S.; Siqueira, J. O., Carvalho, J. G. e Moreira, F. M. S. (2005) - Fitotoxicidade de cádmio para *Eucalyptus maculata* e *E. europaea* em solução nutritiva. *Revista Árvore*, vol. 29, n. 2, p. 175-183.

- Wang, M.; Zou, J.; Duan, X.; Jiang, W. e Liu, D. (2007) - Cadmium accumulation and its effects on metal uptake in maize (*Zea mays* L.). *Bioresource Technology*, vol. 98, n. 1, p. 82-88.
- Wang, W. C. (1987) - Root elongation method for toxicity testing of organic and inorganic pollutants. *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 6, n. 5, p. 409-414.
- Westfall, D. G.; Mortvedt, J. J.; Peterson, G. A. e Gangeloff, W. J. (2005) - Efficient and environmentally safe use of micronutrients in agriculture. *Communication in Soil and Science Plant Analysis*, vol. 36, n. 1-3, p. 169-182.
- Yang, X.; Baligar, V. C.; Martens, D. C. e Clark, R. (1996a) - Cadmium effects on influx and transport of mineral nutrients in plant species. *Journal of Plant Nutrition*, vol.19, n.3-4, p. 643-656.
- Yang, X.; Baligar, V. C.; Martens, D. C. e Clark, R. B. (1996b) - Plant tolerance to nickel toxicity: II nickel effects on influx and transport of mineral nutrients in four plant species. *Journal of Plant Nutrition*, vol. 19, n. 2, p. 256-279.