



Revista Ciência Agronômica

ISSN: 0045-6888

ccarev@ufc.br

Universidade Federal do Ceará
Brasil

Garófalo Chaves, Lucia Helena; Franklin de Mesquita, Evandro; Lima de Araujo, Diva; Pereira de França, Clébia

Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso

Revista Ciência Agronômica, vol. 41, núm. 2, abril-junio, 2010, pp. 167-176

Universidade Federal do Ceará
Ceará, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195314926001>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Crescimento, distribuição e acúmulo de cobre e zinco em plantas de pinhão-manso¹

Growth, distribution and content of copper and zinc in *Jatropha curcas* L. plants

Lucia Helena Garófalo Chaves^{2*}, Evandro Franklin de Mesquita³, Diva Lima de Araujo⁴ e Clébia Pereira de França⁵

Resumo - Pesquisas referentes à extração de metais pesados por planta de pinhão-manso ainda são incipientes. Com a perspectiva dessa planta ser utilizada na recuperação de solos contaminados, objetivou-se, com este trabalho, avaliar os efeitos do cobre e zinco no crescimento do pinhão-manso e o acúmulo e distribuição desses metais na planta. Dois experimentos foram realizados em delineamentos inteiramente casualizados: no primeiro, os tratamentos consistiram em cinco doses de cobre (0; 25; 50; 75 e 100 mg dm⁻³) e, no segundo, quatro doses de zinco (0; 50; 100 e 150 mg dm⁻³), com três repetições. Aos 50; 70; 90 e 110 dias após o semeio, foram avaliados: altura da planta, diâmetro caulinar e área foliar. No final do experimento as plantas foram colhidas e avaliados os teores de cobre e zinco nos tecidos vegetais. Amostras de solo de cada vaso foram coletadas e submetidas às análises químicas. As plantas de pinhão-manso, durante o período experimental, são tolerantes aos tratamentos utilizados, no entanto, doses de cobre e zinco no solo acima de 75 e 50 mg dm⁻³, respectivamente, depreciam o crescimento das mesmas. Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas obedeceram às seguintes ordens, respectivamente: folha > raiz > caule; caule > folha > raiz. A translocação do zinco foi maior que a do cobre nas plantas.

Palavras-chave - *Jatropha curcas* L. Fitorremediação. Cu. Zn. Metais pesados.

Abstract - Researches concerning the extraction of heavy metals by *Jatropha curcas* L. plants are still preliminary and incomplete. With the prospect of this plant to be used in phytoremediation of polluted soils, this study aimed to evaluate the effect of copper and zinc in the initial development of *Jatropha curcas* L. and accumulation and distribution of these elements in this plant. Two experiments were carried out in design completely randomized with three replications; the first one with five copper (0; 25; 50; 75; 100 mg dm⁻³) and the second with four zinc (0; 50; 100; 150 mg dm⁻³) treatments. At 50; 70; 90 and 110 DAS, were evaluated: plant height, stem diameter and leaf area. At the end of the experiment the plants were harvested and assessed the levels of copper and zinc in plant tissues. Soil samples were collected from each pot and subjected to chemical analysis. The *Jatropha curcas* L plants, during the experimental period are tolerant to the treatments, however, copper and zinc levels in soil above 75 and 50 mg dm⁻³, respectively, affect their growth. The copper and zinc concentrations in the plants were ranked in the following order, respectively: leaf > roots > stem; stem > leaf > root. Zinc translocation was higher than copper in the plants.

Key words - *Jatropha curcas* L. Fhytoremediation. Cu. Zn. Heavy metal.

* Autor para correspondência

¹Recebido para publicação em 08/06/2009; aprovado em 13/04/2010

Trabalho de pesquisa desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande

²Departamento de Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Avenida Aprígio Veloso n. 882, Campina Grande-PB, Brasil, 58109-850, lhgarofalo@hotmail.com

³Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, elmesquita4@yahoo.com.br

⁴Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, dyva-araujo@hotmail.com

⁵Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, CTRN/UFCG, Campina Grande-PB, Brasil, clebia_franca@hotmail.com

Introdução

Os metais pesados são elementos que ocorrem naturalmente no solo, sendo que alguns deles, como é o caso do cobre (Cu) e zinco (Zn), considerados micronutrientes, são essenciais para os vegetais. Entretanto, quando presentes em elevadas concentrações, podem causar danos ao ambiente e à cadeia alimentar. As fontes antropogênicas de metais pesados são provenientes das atividades industriais, agrícolas e urbanas (BAKER, 2000), sendo o solo um dos principais receptores de tais metais.

No solo os metais pesados podem ocorrer na forma iônica ou complexada na solução do solo, como íons trocáveis, presos aos complexos de troca, como íons quelatos em complexos orgânicos ou organominerais, incorporados em sesquióxidos precipitados ou sais insolúveis ou presos nas estruturas cristalinas dos minerais primários ou secundários. No caso do Cu, suas formas mais comuns na solução do solo são os quelatos orgânicos solúveis (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992), sendo considerado um elemento pouco móvel nos solos. A forma mais comum do Zn é a iônica e, por ser fortemente retido pelas argilas e pela matéria orgânica, torna-se praticamente imóvel no solo, porém, comparativamente, apresenta maior mobilidade que o Cu (SIMÃO; SIQUEIRA, 2001).

Os teores normais de Cu no solo e nas plantas podem variar de 2 a 250 mg kg⁻¹ e de 5 a 20 mg kg⁻¹, respectivamente (BOWEN, 1979). Em concentrações no solo acima da faixa de 60 a 125 mg kg⁻¹ ocorre toxicidade do elemento e as concentrações nas plantas de 20 a 100 mg kg⁻¹ são consideradas críticas, causando danos ao tecido e ao alongamento das raízes, alterações na permeabilidade da membrana, inibição do transporte de elétrons fotossintéticos, imobilização do elemento nas paredes e vacúolos e clorose (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Solos com teores de Zn abaixo de 10 a 20 mg kg⁻¹ são considerados deficientes, enquanto aqueles com teores entre 25 a 150 mg kg⁻¹ apresentam o metal em quantidades ideais à nutrição das plantas. Quando a concentração atinge patamares maiores que 400 mg kg⁻¹, passa a ser tóxico às plantas cujos sintomas são caracterizados por redução no crescimento e clorose (MATTIAZZO-PREZOTTO, 1994).

Ao mesmo tempo em que o excesso de metais nos solos afeta o desenvolvimento das espécies vegetais, a vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos degradados pelo excesso desses elementos (MARQUES et al., 2000). Este método, conhecido como fitoremedeiação, visa remover, transferir, estabilizar ou destruir elementos nocivos (BURKEN, 2002).

O pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.), da família das Euphorbiaceae, tem sido citado na literatura como

uma cultura rústica, que sobrevive bem em condições de solos marginais de baixa fertilidade natural se adaptando às mais diversas condições edafoclimáticas (ARRUDA et al., 2008; SATURNINO et al., 2005). O óleo extraído das suas sementes serve para lustrar e envernizar móveis, é utilizado na saboaria, na indústria de tintas e como combustível nos motores Diesel. Além de produzir o óleo, 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).

Poucos são os estudos sobre as exigências nutricionais do pinhão-manso, no entanto, Gusmão et al. (2007), trabalhando com diagnose por subtração, observaram que a ausência de Zn causou, nestas plantas, redução nos internódios e maior número de folhas. Em trabalho semelhante, Andrade et al. (2007) observaram que a omissão de Cu e Zn não provocou sintomas de deficiência nas plantas. Segundo observações feitas por Laviola & Dias (2008), avaliando a concentração e o acúmulo de nutrientes em folhas de pinhão-manso, os referidos elementos foram os que menos se acumularam nas folhas das plantas.

Considerando a falta de conhecimento sobre o comportamento das plantas de pinhão-manso quando cultivadas em solos com altos teores de Cu e Zn e a perspectiva dessa planta ser utilizada na fitoremedeiação destes solos, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito destes elementos no desenvolvimento inicial da planta quando submetida a teores elevados dos mesmos e o acúmulo e distribuição do Cu e Zn na planta de pinhão-manso.

Material e métodos

Dois experimentos foram realizados em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, no período de julho a outubro de 2008, utilizando-se vasos plásticos com 25 L de capacidade, perfurados na base para permitir drenagem, os quais foram preenchidos com 22 kg de substrato. O mesmo era constituído de solo franco-arenoso classificado como NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (EMBRAPA, 1999), coletado na camada superficial do solo (0 – 0,20 m de profundidade), tendo como atributos químicos: pH (H₂O) = 5,8; Ca = 2,47 cmol_c kg⁻¹; Mg = 2,57 cmol_c kg⁻¹; Na = 0,52 cmol_c kg⁻¹; K = 0,19 cmol_c kg⁻¹; H = 0,76 cmol_c kg⁻¹; Al = 0,0 cmol_c kg⁻¹; matéria orgânica = 3,8 g kg⁻¹; P = 5,9 mg kg⁻¹; Zn = 4,17 mg dm⁻³; Cu = 6,23 mg dm⁻³.

Os experimentos foram instalados em delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, sendo um deles

com cinco doses de Cu (0; 25; 50; 75 e 100 mg dm⁻³) e um outro com quatro doses de Zn (0; 50; 100 e 150 mg dm⁻³), perfazendo o total de quinze e doze unidades experimentais, respectivamente, utilizando-se como fontes dos elementos cloreto de cobre e cloreto de zinco. O substrato de cada unidade experimental recebeu uma adubação equivalente a 100 mg kg⁻¹ de N, 300 mg kg⁻¹ de P₂O₅ e 150 mg kg⁻¹ de K₂O, tendo sido utilizados como fontes de nutrientes a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio, respectivamente. O Zn, o Cu, o fósforo e 30% da dose de potássio foram misturados com o substrato antes do preenchimento das unidades experimentais. O restante da dose de potássio e a dose de nitrogênio foram parceladas em três vezes e aplicadas quinzenalmente, a partir do desbaste das plantas, dissolvidos na água de irrigação.

Cada unidade experimental recebeu três sementes de pinhão-manso, tendo permanecido após o desbaste, realizado vinte e cinco dias após o semeio (DAS), uma planta por unidade. Durante todo o período experimental (110 dias), o solo foi mantido com umidade corresponde a 80% da capacidade de campo, tendo sido monitorada diariamente, utilizando-se sonda de Diviner 2000, através de um tubo de acesso instalado em cada unidade experimental.

Aos 50; 70; 90 e 110 DAS, foram avaliadas altura de planta, mensurada do colo a base da folha mais jovem de cada planta; diâmetro do caule, mensurado na região do colo da planta com uso de paquímetro; número e comprimento de 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 fórmula $log(Y) = \Sigma\{-0,346 + [2,152 \times log(X)]\}$, sendo Y a área foliar em cm² e X o comprimento da nervura central da folha em cm.

Ao final do experimento, os substratos das unidades experimentais foram secos ao ar, passados em peneira com 2 mm de malha e analisados quimicamente, determinando-se os teores de Cu e Zn presentes nos mesmos, utilizando-se o extrator Mehlich-1. As plantas foram colhidas, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas, o qual, depois de lavado em água destilada e seco em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até peso constante, foi pesado e moído em moinho tipo Wiley. Posteriormente, efetuou-se a digestão nitroperclórica do material para determinação, nos extratos, de Cu e Zn por espectrofotometria de absorção atômica. Os teores destes elementos presentes nos substratos também foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica.

O acúmulo (A) do Cu e do Zn nas folhas, caules e raízes das plantas (μg) foi calculado pela expressão $A = (MSC, ou MSF ou MSR (mg) \times Concentração do$

elemento (mg kg⁻¹) / 1000, onde MSC = massa seca dos caules; MSF = massa seca das folhas; MSR = massa seca das raízes. A quantidade total de Cu e de Zn acumulada na planta foi calculada pelo somatório das quantidades acumuladas destes elementos em cada parte da planta. A partir desta quantidade total, calculou-se a porcentagem de acúmulo dos metais para cada parte da planta. De acordo com Abicheque e Bohnen (1998), calculou-se o índice de translocação (IT) dos elementos, dado em porcentagem, 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 (2008).

Resultados e discussão

Os teores totais de Cu encontrados no solo, após a colheita das plantas (teor final), correspondentes aos tratamentos 0; 25; 50; 75 e 100 mg dm⁻³ foram, respectivamente, 0,40; 13,32; 30,75; 27,77 e 60,35 mg dm⁻³. Com exceção do teor 60,35 mg dm⁻³, os demais não são considerados de risco para o ambiente uma vez que estão abaixo do valor de referência de qualidade do solo (VRQ), 35 mg dm⁻³, sugerido pela CETESB (2007).

Os teores de Cu que permaneceram no solo das unidades experimentais, após a colheita das plantas (teores finais), variaram em função dos teores iniciais do elemento presentes nestas unidades (teores existentes no solo + teores aplicados como tratamentos) (Figura 1), cujas porcentagens corresponderam a 6,37; 42,66; 54,69; 34,18 e 56,81% em relação aos tratamentos 0; 25; 50; 75 e 100 mg Cu dm⁻³, respectivamente.

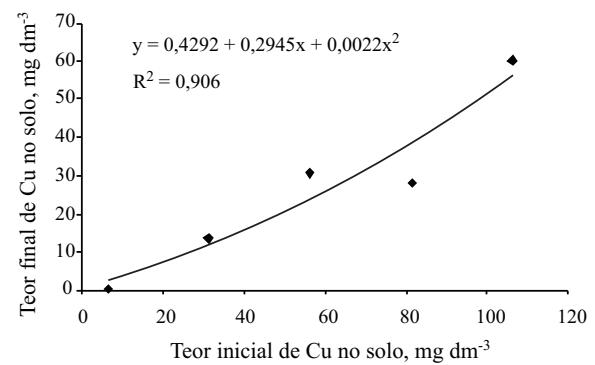


Figura 1 - Variação dos teores de cobre no solo após a coleta das plantas (teores finais) em função dos teores no solo antes do plantio (teores iniciais)

Os teores de Zn no solo das unidades experimentais, após a colheita das plantas, os quais corresponderam a 1,44; 24,86; 63,27 e 72,51 mg dm⁻³, variaram em função dos teores iniciais do elemento presentes no solo (Figura 2). Os teores finais correspondentes aos dois maiores tratamentos ficaram acima de 60 mg kg⁻¹, valor este considerado de referência de qualidade de solo, segundo CETESB (2007). As porcentagens de Zn que permaneceram no solo após a colheita das plantas corresponderam a 34,49; 45,9; 60,74; e 47,03% em relação aos tratamentos 0; 50; 100 e 150 mg dm⁻³, respectivamente.

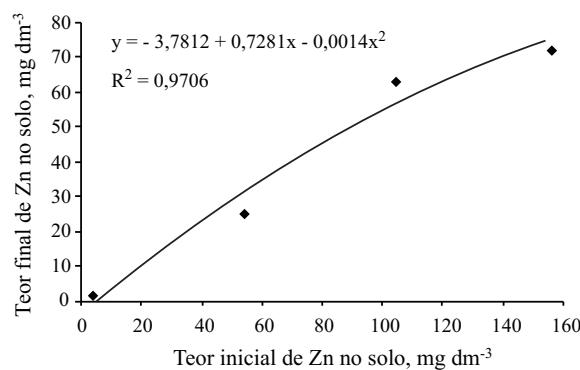


Figura 2 - Variação dos teores de cobre no solo após a coleta das plantas (teores finais) em função dos teores no solo antes do plantio (teores iniciais)

Observa-se nas Figuras 1 e 2 que os teores finais de Cu e de Zn no solo, respectivamente, aumentaram em função dos seus teores iniciais, indicando que as quantidades absorvidas destes elementos pelas plantas, provavelmente, não aumentaram na mesma proporção do aumento dos tratamentos. Mesmo assim, as quantidades de Cu e Zn absorvidas pelas plantas influenciaram, de alguma forma, no desenvolvimento das mesmas.

Os tratamentos com Cu não influenciaram, de forma significativa, na altura das plantas, mas influenciaram, a partir dos 70 DAS, no diâmetro caulinar e na área foliar (Tabela 1), discordando de Chaves et al. (2009a) que não encontraram efeito significativo do elemento nas doses de 0 a 4 mg dm⁻³ sobre estas variáveis de crescimento, justificado neste caso, pelos baixos teores dos tratamentos.

Ao contrário do que foi observado com o Cu, os tratamentos com Zn influenciaram todas as variáveis de crescimento, em todas as épocas avaliadas, de forma significativa a 1% de probabilidade (Tabela 1), discordando de Chaves et al. (2009a), que avaliaram o efeito de Zn com doses variando de 0 a 8 mg dm⁻³, em plantas de pinhão-manso.

As equações de regressão ajustadas entre os tratamentos e as variáveis de crescimento, que foram influenciadas de maneira significativa pelos mesmos, são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 1 - Resumo das análises de variância (Significância dos Quadrados Médios) referentes aos dados de altura de planta, diâmetro caulinar e área foliar obtidos ao longo do período experimental, em função dos tratamentos com cobre e zinco

| Tratamentos | Significância do Quadrado Médio | | |
|---------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------|
| | Altura de Planta | Diâmetro Caulinar | Área Foliar |
| 50 dias após a semeadura | | | |
| Cobre | ns | ns | ns |
| Zinco | ** | ** | ** |
| 70 dias após a semeadura | | | |
| Cobre | ns | ns | * |
| Zinco | ** | ** | ** |
| 90 dias após a semeadura | | | |
| Cobre | ns | ** | ** |
| Zinco | ** | ** | ** |
| 110 dias após a semeadura | | | |
| Cobre | ns | ns | ** |
| Zinco | ** | ** | ** |

*, ** significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo

Tabela 2 - Equações de regressão ajustadas entre altura de plantas, diâmetro caulinar e área foliar, como variáveis dependentes (Y) dos tratamentos com cobre e zinco (x), nas diversas épocas de avaliação

| Épocas de avaliação | Equações Ajustadas | | | | |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------|-------------------------|----------------|--------------------------|
| | Tratamentos com cobre | | | | |
| | Diâmetro Caulinar | R ² | Área Foliar | R ² | |
| 70 DAS | $Y = 24,73 - 0,2616 x + 0,0020 x^2$ | 0,98* | $Y = 2135,18 - 14,28 x$ | 0,73** | |
| 90 DAS | $Y = 25,78 - 0,1940 x - 0,0015 x^2$ | 0,95* | $Y = 3441,39 - 21,91 x$ | 0,70** | |
| 110 DAS | $Y = 30,20 - 0,2033 x - 0,0015 x^2$ | 0,93** | $Y = 4835,68 - 31,76 x$ | 0,89** | |
| Tratamentos com zinco | | | | | |
| | Altura de Plantas | R ² | Diâmetro Caulinar | R ² | Área Foliar |
| 50 DAS | $Y = 22,86 - 0,028 x$ | 0,99** | $Y = 13,72 - 0,0378 x$ | 0,98** | $Y = 707,13 - 3,326 x$ |
| 70 DAS | $Y = 47,02 - 0,169 x$ | 0,99** | $Y = 23,82 - 0,086 x$ | 0,96** | $Y = 2476,02 - 19,091 x$ |
| 90 DAS | $Y = 62,40 - 0,242 x$ | 0,99** | $Y = 25,44 - 0,0828 x$ | 0,98** | $Y = 3717,17 - 20,638 x$ |
| 110 DAS | $Y = 76,53 - 0,328 x$ | 0,99** | $Y = 30,30 - 0,1059 x$ | 0,99** | $Y = 5213,58 - 3,1193 x$ |

*, ** significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente

A altura das plantas diminuiu em função dos tratamentos com Zn (Figura 3), entretanto, pode-se observar que houve diferenças no comportamento das plantas em relação às doses utilizadas nas épocas de avaliação. Até os 50 DAS, por exemplo, as plantas foram pouco afetadas pelos tratamentos, tendo em vista que a diferença entre as alturas, apesar de significativa, foi pequena e seus valores foram semelhantes ao encontrado por Silva et al. (2009), 19,64 cm, em plantas de pinhão-manso com 45 DAS, desenvolvidas em solução nutritiva completa. A partir desta época, os tratamentos passaram a ter maior efeito prejudicial sobre o desenvolvimento das

plantas o que pode ser notado na Figura 3 pelo aumento da diferença entre as alturas das plantas submetidas aos tratamentos e a testemunha. As plantas submetidas ao maior tratamento foram as mais afetadas durante todo o período experimental, seguidas por aquelas que receberam 100 mg dm⁻³ aos 110 DAS.

O diâmetro caulinar das plantas diminuiu, de forma significativa, em função dos tratamentos com Cu e Zn (Figura 4). Aos 50 DAS, os valores do diâmetro caulinar das plantas testemunhas foram semelhantes ao observado por Silva et al. (2009), 15 mm, em plantas de pinhão-manso com 45 DAS, porém, das demais plantas, nesta mesma época, foram menores. Da mesma forma, os valores do diâmetro caulinar das plantas aos 90 DAS foram menores do que aqueles observados por Chaves et al. (2009a) em plantas de pinhão-manso com a mesma idade, os quais variaram de 30 a 35 mm. Com isto, pode-se dizer que as doses de Cu e Zn utilizadas no presente trabalho afetaram de forma negativa o desenvolvimento caulinar das plantas.

Mantendo as tendências já observadas para altura de planta e diâmetro caulinar, a área foliar das plantas diminuiu de forma significativa em função dos tratamentos (Figura 4). Aos 110 DAS, as plantas submetidas à maior dose de Cu, 100 mg dm⁻³, apresentaram uma redução na área foliar em torno de 69,5% em relação a testemunha. No caso do Zn, as doses de 100 e 150 mg dm⁻³ causaram uma redução em torno de 60,1 e 41,9%, respectivamente, em relação a testemunha, mostrando o efeito depreciativo

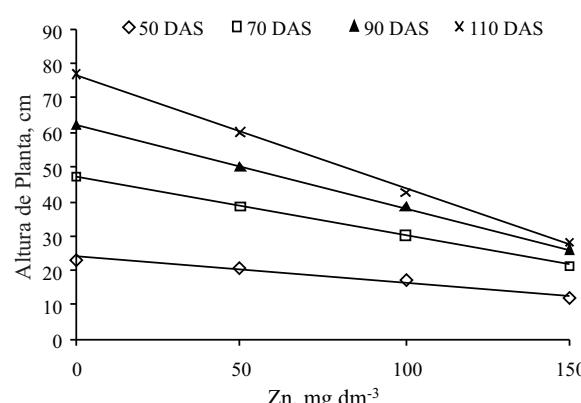


Figura 3 - Variação da altura das plantas em função dos tratamentos com zinco na várias épocas de amostragem

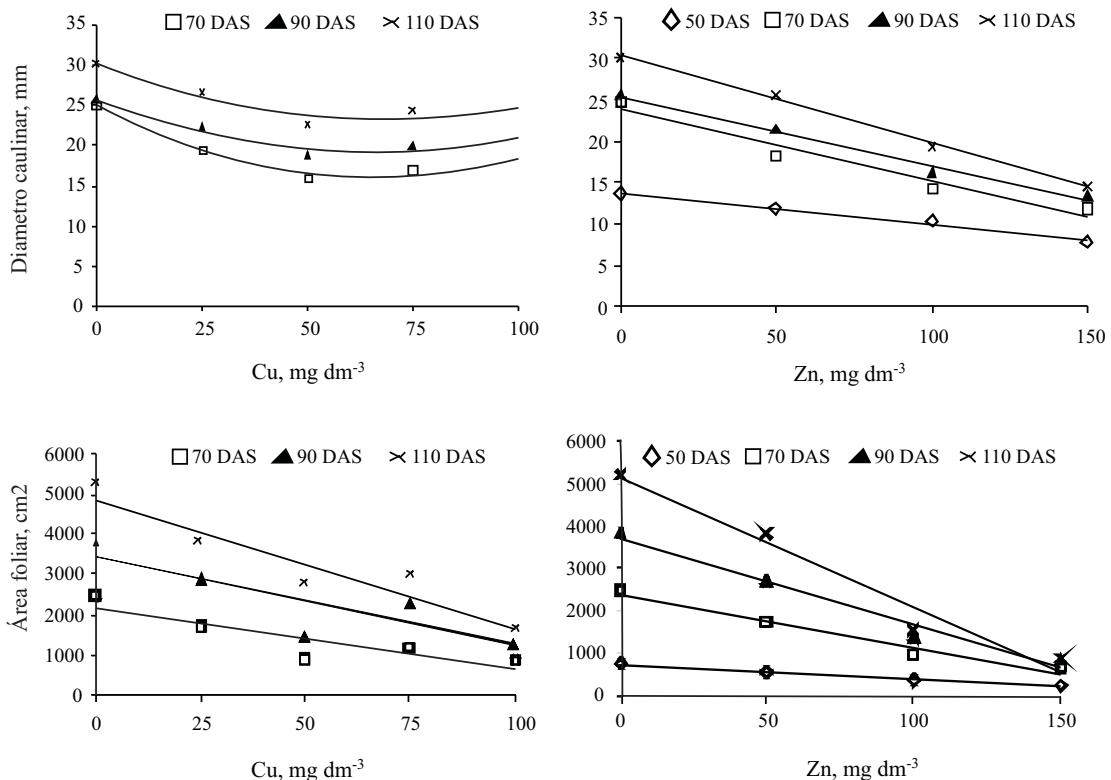


Figura 4 - Variação do diâmetro caulinar e área foliar em função dos tratamentos com cobre e zinco na várias épocas de amostragem

dos tratamentos no aparelho assimilatório das plantas, o qual está diretamente relacionado com os processos fisiológicos das mesmas.

As produções de matéria seca das raízes, caule e folhas do pinhão-manso, influenciadas pelos tratamentos

com Cu e com Zn de forma significativa ao nível de 1% de probabilidade, diminuíram em função das doses crescentes dos elementos (Figura 5).

Segundo Faust e Christians (2000) e Kopittke e Menzies (2006), a redução da massa seca das plantas

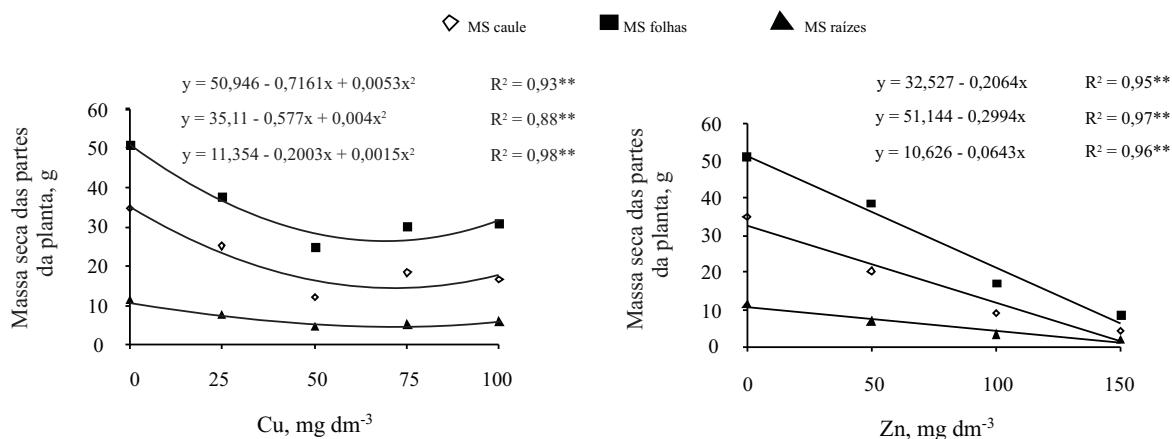


Figura 5 - Variação da massa seca das raízes, caule e folhas em função das doses de cobre e zinco aplicadas ao solo

não é devido a uma direta toxidez de Cu nas mesmas, mas sim, por causa de sua deficiência nutricional causada pelas lesões nas raízes provocadas pelos elevados teores de Cu no solo. Em relação ao Zn, Malavolta et al. (1997) explicam que a redução na produção de matéria seca em planta submetidas a elevados teores deste elemento é devido ao acúmulo de tampões ("plugs") contendo Zn, no xilema das plantas, os quais dificultam a ascensão da seiva bruta. Zeitouni et al. (2007), avaliando o desenvolvimento de plantas de mamona submetidas aos tratamentos com Cu (0 a 40 mg dm⁻³) e com Zn (0 a 125 mg dm⁻³), também observaram diminuição na matéria seca das plantas com o aumento das doses dos metais aplicadas ao solo. Teores mais baixos destes elementos, utilizados por Chaves et al. (2009a), não apresentaram efeito significativo sobre a matéria seca de caules e folhas de pinhão-manso.

Os teores de Cu encontrados nos caules e raízes foram influenciados de forma significativa a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente (Tabela 3), os quais aumentaram de forma linear (Figura 6). De maneira geral, houve aumento nos teores de Cu em todas as partes das plantas, quando comparado com a testemunha, verificando-se incrementos de até 563,57 % nas raízes, de 150,74 % no caule e de 92,17 % nas folhas.

Os maiores teores do elemento foram observados nas raízes, estando na faixa considerada crítica para as plantas aqueles correspondentes aos tratamentos 50, 75 e 100 mg dm⁻³. No entanto, considerando os teores na planta como um todo, a partir do tratamento 25 mg dm⁻³ já são considerados críticos. Na parte aérea das plantas os

maiores teores, em geral, foram observados nas folhas, corroborando com Chaves et al. (2009b). De acordo com Antosiewicz (1992), plantas que apresentam maior teor de Cu nas raízes comportam-se como plantas indicadoras, ou seja, plantas em que as concentrações do metal na parte interna das mesmas refletem os teores externos (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000; SIMÃO; SIQUEIRA, 2001). Xiaohai et al. (2008), cultivando mamona, uma Euphorbiaceae, em solo com 89 mg Cu kg⁻¹, também observaram maiores concentrações do elemento nas raízes quando comparados ao caule.

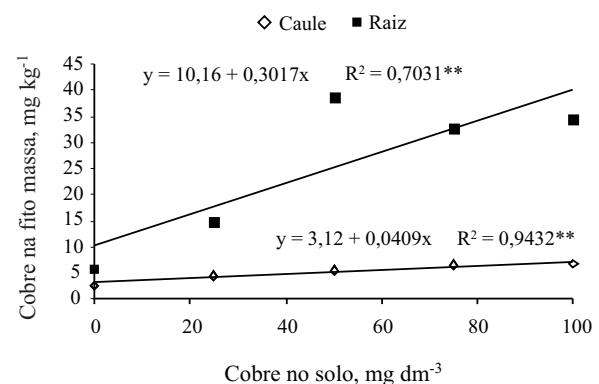


Figura 6 - Variação dos teores de cobre nas raízes e caule do pinhão-manso em função das doses de cobre aplicadas ao solo

Tabela 3 - Resumo das análises de variância (Significância dos Quadrados Médios), teores e conteúdos de cobre e de zinco encontrados nas folhas, caule e raízes das plantas de pinhão-manso, em função dos tratamentos

| | Teor, mg kg ⁻¹ | | | Conteúdo, µg | | |
|---------------------------------|---------------------------|--------|--------|--------------|---------|---------|
| | Folha | Caule | Raiz | Folha | Caule | Raiz |
| Doses de Cu mg dm ⁻³ | ns | ** | * | * | ns | ns |
| 0 | 3,45 | 2,70 | 5,82 | 174,87 | 93,16 | 65,05 |
| 25 | 6,63 | 4,43 | 14,65 | 239,93 | 109,09 | 111,50 |
| 50 | 6,52 | 5,40 | 38,62 | 161,71 | 65,32 | 173,00 |
| 75 | 6,58 | 6,53 | 32,55 | 192,75 | 113,95 | 155,80 |
| 100 | 5,55 | 6,77 | 34,58 | 209,98 | 95,94 | 183,03 |
| Doses de Zn mg dm ⁻³ | ** | ** | ** | ** | ** | ** |
| 0 | 27,73 | 33,57 | 42,20 | 1412,83 | 1171,33 | 473,27 |
| 50 | 157,50 | 478,50 | 688,83 | 6105,55 | 9642,50 | 4791,76 |
| 100 | 345,00 | 595,50 | 708,17 | 5814,45 | 5547,72 | 2273,96 |
| 150 | 347,67 | 950,00 | 670,00 | 2639,13 | 4018,50 | 1205,80 |

*; ** significativo ao nível de 5 e 1% de probabilidade, respectivamente; ns não significativo

Apesar do maior teor de Cu nas raízes, o maior acúmulo relativo do elemento ocorreu nas folhas (Tabela 3), devido, provavelmente, a sua maior quantidade de matéria seca (Figura 5), tendo sido influenciado significativamente a 5% de probabilidade pelos tratamentos. Plantas com esta característica podem facilitar o processo de distribuição do Cu nos componentes do ecossistema, tendo-se em vista que as folhas reciclam mais rapidamente que as demais partes da planta (SOARES et al., 2001).

Laviola e Dias (2008), avaliando o teor e acúmulo de Cu e Zn em plantas de pinhão-manso cultivado em solo com 2,3 e 10,1 mg dm⁻³, respectivamente, encontraram nas folhas 10 mg kg⁻¹ de Cu com acúmulo de 11,71 µg/planta. A diferença entre estes valores e os encontrados no presente trabalho (Tabela 3) deve-se ao fato das plantas não terem sido adubadas com Cu e as folhas analisadas terem sido coletadas em plantas com mais de um ano de idade, impossibilitando, por isto, uma comparação entre os resultados destes autores com os do presente trabalho.

Com exceção da testemunha, os teores de Zn encontrados nas folhas e caules das plantas foram superiores ou estiveram na faixa de 100 a 400 mg kg⁻¹ na matéria seca (Tabela 3), considerada prejudicial às culturas (KABATA-PENDIAS; PENDIAS, 1992). Na parte aérea, como um todo, o teor do elemento variou, em média, de 61 a 1298 mg kg⁻¹, variação esta semelhante à encontrada por Zeitouni et al. (2007), na parte aérea de mamoneira, adubada com até 125 mg Zn kg⁻¹, que foi de 51 a 1188 mg kg⁻¹.

Os tratamentos apresentaram efeito significativo nos teores do Zn encontrados nas raízes, caule e folhas, observando-se maiores teores nas raízes, com exceção do tratamento 150 mg dm⁻³ (Tabela 3). Os teores do elemento no caule aumentaram de forma linear, enquanto que nas folhas e raízes aumentaram de forma quadrática (Figura 7), tendo ocorrido um incremento de até 1578,13 % nas raízes, de 2729,90 % no caule e de 1153,77 % nas folhas.

O acúmulo do Zn nas raízes, no caule e nas folhas do pinhão-manso foi influenciado, de forma significativa, ao nível de 1 % de probabilidade pelos tratamentos (Tabela 3), tendo ocorrido maiores acúmulos relativos do elemento nos caules e nas folhas. O acúmulo preferencial no caule pode contribuir para a imobilização do elemento na vegetação, tornando o pinhão-manso promissor para o programa de fitorremediação, desde que tolere as condições de altas dosagens do elemento no solo (SOARES et al., 2001). O teor e o acúmulo de Zn em folhas de pinhão-manso encontrados por Laviola e Dias (2008) foram 22,70 mg kg⁻¹ e 25,46 µg/planta. Este teor é semelhante ao encontrado na planta testemunha do presente trabalho,

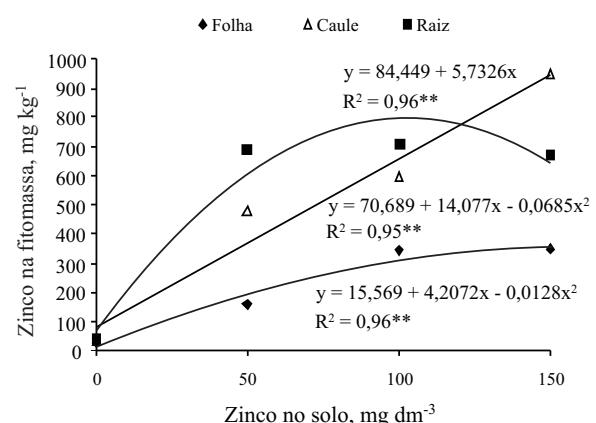


Figura 7 - Teores de zinco nas folhas, caule e raízes do pinhão-manso em função das doses de zinco aplicadas ao solo

no entanto, o acúmulo é muito menor. A explicação para tal fato é a mesma já comentada anteriormente para o acúmulo de Cu, observado pelos autores.

O índice de translocação do Cu não foi influenciado de maneira significativa pelos tratamentos, porém, pode-se observar que nas plantas submetidas às três maiores doses do elemento, a translocação do mesmo, das raízes para a parte aérea, foi menor do que nas demais doses (Figura 8).

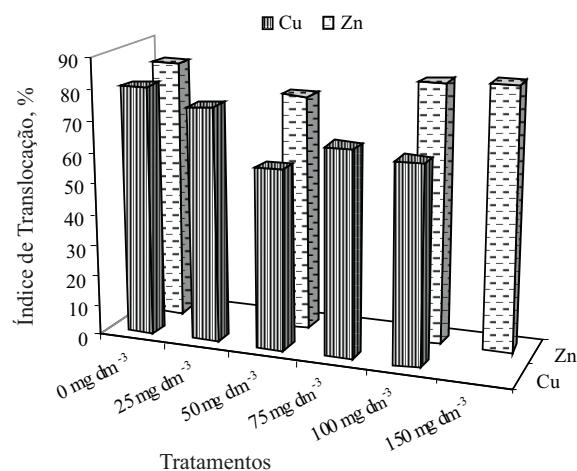


Figura 8 - Índice de translocação de cobre e zinco em pinhão-manso submetido aos níveis crescentes destes elementos aplicadas ao solo

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (1992), o Cu não é prontamente móvel na planta devido permanecer ligado fortemente às paredes celulares das raízes, sendo os órgãos jovens os primeiros a desenvolver sintomas de deficiência de Cu. Todavia, a sua mobilidade nos tecidos vegetais pode aumentar com o nível de suprimento do elemento, o que não foi observado no presente trabalho (Figura 8). Vale ressaltar que, em geral, a partir do tratamento correspondente a 25 mg dm⁻³, na medida em que aumentaram as doses de Cu aplicadas ao solo, diminuiu o valor acumulado nas folhas (Tabela 3), o que se justifica pela diminuição no índice de translocação do elemento.

No que diz respeito ao Zn, a variação dos índices de translocação em função dos tratamentos foi muito pequena e também não significativa (Figura 8). Comparando os índices de translocação dos dois elementos, aqueles correspondentes ao Zn foram superiores aos do Cu, principalmente, para as doses iguais dos elementos adicionados ao solo (50 e 100 mg dm⁻³ de Cu e Zn). Alguns autores consideram o Zn altamente móvel, outros atribuem a ele mobilidade intermediária. De fato, quando existe um grande suprimento de Zn, muitas espécies de plantas translocam quantidades apreciáveis do elemento das folhas velhas para órgãos de crescimento.

Conclusões

- As plantas de pinhão-manso durante o período experimental são tolerantes aos tratamentos utilizados, no entanto, doses de cobre e zinco no solo acima de 75 e 50 mg dm⁻³, respectivamente, depreciam o crescimento das mesmas.
- Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas de pinhão-manso obedeceram às seguintes ordens, respectivamente: folha > raiz > caule; caule > folha > raiz.
- O índice de translocação do zinco foi maior que a do cobre nas plantas de pinhão-manso.

Referências

- ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, n. 01, p. 21-26, 1998.
- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. *Tópicos em Ciência do Solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p. 299-351.
- ANDRADE, T. M. et al. Deficiência de micronutrientes em mudas de *Jatropha curcas* L.: resultados preliminares. 2007. Disponível em <<http://www.biodisel.gov.br/docs/congresso2007/agricultura56.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2009.
- ANTOSIEWICZ, D. M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, v. 61, n. 02, p. 281-299, 1992.
- ARRUDA, F. P. et al. Cultivo de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. *Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas*, v. 08, n. 01, p. 789-799, 2008.
- ASSISTÊNCIA Estatística (ASSISTAT). Download: versão 7.5 beta. 2008. Disponível em <<http://www.assistat.com>>. Acesso em: 18 maio de 2009.
- BAKER, A. J. M. et al. Metal hyperaccumulator plants: a review of the ecology and physiology of a biological resource for phytoremediation of metal-polluted soils. In: TERRY, N.; BANUELOS, G. (Ed.). *Phytoremediation of contaminated soil and water*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. p. 85-107.
- BOWEN, H. J. M. *Environmental chemestry of the elements*. London: Academic Press, 1979. 333 p.
- BURKEN, J. B. Fate and Partitioning in Vegetation: use of Tree Cores in Groundwater Analysis. *Environmental Science Technology*, v. 36, n. 21, p. 4663-4668, 2002.
- COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL (CETESB). *Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo*. 2007. Disponível em:<<http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em: 18 de maio 2009.
- CHAVES, L. H. G. et al. Zinco e cobre em pinhão manso. I. Crescimento inicial da cultura. *Caatinga*, v. 22, n. 03, p. 94-99, 2009a.
- CHAVES, L. H. G. et al. Zinco e cobre em pinhão manso. II. Teores dos elementos em folhas e caule. *Caatinga*, v. 22, n. 03, p. 100-106, 2009b.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.
- FAUST, M. B.; CHRISTIANS, N. E. Copper reduces shoot growth and root development of creeping bentgrass. *Crop Science*, v. 40, p. 498-502, 2000.
- GUSMAO, C. A. G. et al. Modificações no crescimento e na área foliar de plântulas de pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.) ocasionadas por distúrbios nutricionais. Disponível em <<http://www.biodisel.gov.br/docs/congresso2007/agricultura56.pdf>>. Acesso em: 23 maio 2009.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soils and plants*. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1992. 315 p.
- KOPITKE, P. M.; MENZIES, N. W. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Plant and Soil*, v. 279, n. 01/02, p. 287-296, 2006.
- LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-manso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 32, n. 05, p. 1969-1975, 2008.

- MALAVOLTA, E. *et al.* Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. San Diego: Academic, 1995. 902 p.
- MATTIAZZO-PREZZOTO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, cromo, níquel e zinco adicionados a solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994. 197 f. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1994.
- SATURNINO, H. M. *et al.* Cultura do pinhão-manso (*Jatropha curcas* L.). **Informações Agropecuárias**, v. 26, p. 44-78, 2005.
- SIILVA, E. N. *et al.* Acúmulo de íons e crescimento de pinhão-manso sob diferentes níveis de salinidade. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 02, p. 240-246, 2009.
- SIMÃO, J. B. P.; SIQUEIRA, J. O. Solos contaminados por metais pesados: características, implicações e remediação. **Informe Agropecuário**, v. 22, n. 210, p. 18-26, 2001.
- SOARES, C. R. F. S. *et al.* Acumulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de arvores em solo contaminado por rejeitos de industria de zinco. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 03, p. 302-315, 2001.
- XIAOHAI, L. *et al.* Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnam. **Journal of Environmental Science**, v. 20, n. 12, p. 1469-1474, 2008.
- ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, v. 66, n. 04, p. 649-657, 2007.
- WENDT, C. W. 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**, v. 59, n. 05, p. 484-486, 1967.