



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ACÚMULO E DISTRIBUIÇÃO DE COBRE E ZINCO EM MAMONEIRA CULTIVAR BRS PARAGUAÇU E CRESCIMENTO DA PLANTA

Lúcia Helena Garófalo Chaves¹; Evandro Franklin de Mesquita²; Diva Lima de Araujo³; Clebia
Pereira de França⁴

RESUMO

A fitoextração é uma técnica promissora de fitorremediação que busca extrair metais pesados de solos contaminados. Por ser uma tecnologia recente, as pesquisas referentes à extração de metais por plantas de mamona ainda são incipientes e preliminares. Dois experimentos em vasos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, para avaliar a capacidade extratora de cobre e zinco pela mamona (nome científico). Os experimentos foram realizados em delineamento inteiramente casualizado; os tratamentos consistiram em cinco doses de cobre (0; 25; 50; 75 e 100 mg kg⁻¹) e quatro doses de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 mg kg⁻¹), com três repetições. Aos 30; 60; 75 e 105 dias após semeadura (DAS), foi coletada a 4ª. folha de cada planta. No final do experimento as plantas foram colhidas e avaliados os teores de cobre e zinco nos tecidos vegetais. Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas obedeceram à seguinte ordem: raiz > folha > caule. A translocação do zinco foi maior que a do cobre nas plantas de mamona. A mamona neste estudo não se enquadra na definição de planta hiperacumuladora, porém pode ser acumuladora de zinco.

Palavras-chave: fitorremediação; metais pesados, *Ricinus communis* L.

ABSTRACT

CONTENT AND DISTRIBUTION OF COPPER AND ZINC IN CASTOR BEAN CULTIVAR BRS 188 PARAGUAÇU

Phytoextraction it's a promising phytoremediation technique for heavy metal extraction from contaminated soils. As a recent technology, researches concerning the extraction of heavy metals by castor bean plant are still preliminary and incomplete. Two pot experiments were conducted in a greenhouse to evaluate the extracting capacity of copper and zinc by castor bean. The experiments were carried out in design completely randomized with three replications and five copper (0; 25; 50; 75; 100 mg kg⁻¹) and five zinc (0; 50; 100; 150; 200 mg kg⁻¹) treatments. At 30; 60; 75 and 105 DAS, was harvested the 4th. leaf of each plant. At the end of the experiment the plants were harvested and assessed the levels of copper and zinc in plant tissues. The copper and zinc concentrations in the plants were ranked in the following order: root > leaf > stem. Zinc translocation was higher than copper in the castor bean plants. The castor bean plants studied could not be considered as heavy metal hyperaccumulator, however, they can be considered as zinc accumulator.

Keywords: Phytoremediation; heavy metal; *Ricinus communis* L.

Trabalho recebido em 16/05/2010 e aceito para publicação em 11/09/2010.

¹ Professora Doutora Titular do Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. e-mail: lhgarofalo@hotmail.com

² Professor do Departamento de Agrárias e Letras, Campus IV, Universidade Estadual da Paraíba. Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. e-mail: elmesquita4@yahoo.com.br

³ Doutoranda do PPG em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. e-mail: dyva-araujo@hotmail.com

⁴ Mestranda do PPG em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande. e-mail: clebia_franca@hotmail.com

1. INTRODUÇÃO

O aumento das atividades industriais e urbanas aliado ao uso inadequado de fertilizantes e pesticidas no solo tem contribuído para a contaminação do mesmo tendo em vista que o solo é um dos principais receptores de metais pesados (BAKER, 2000), os quais se acumulam freqüentemente na sua camada superior.

Em solos não poluídos, esses metais estão contidos principalmente nos minerais primários ou ligados a óxidos, formando espécies relativamente de baixa solubilidade. Por outro lado, em solos contaminados, presume-se que os mesmos devam se apresentar em formas mais solúveis (BORGES JUNIOR, *et al.* 2008), sendo então acessíveis para as raízes das plantas.

A formação no solo do complexo quelato/metálico previne a precipitação e a sorção dos metais e mantém sua disponibilidade para as plantas. Essa disponibilidade é o que determina a concentração e o acúmulo dos mesmos nos tecidos vegetais. As espécies tolerantes quanto a absorção dos metais pesados, geralmente acumulam maiores concentrações destes metais na raiz em relação à parte aérea, indicando que as plantas que crescem nessas condições não conseguem evitar a absorção dos metais, mas limitam sua translocação afetando o

crescimento, a distribuição e o ciclo biológico das espécies vegetais (GARBISU & ALKORTA, 2001). No entanto, a vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos degradados pelo excesso desses elementos, conhecida como fitorremediação (MARQUES *et al.*, 2000).

Dentre as vantagens da fitorremediação, incluem-se a mínima degradação e desestabilização da área, baixo impacto ambiental, aliada à estética favorável (NEDELKOSKA & DORAN, 2000). Além disso, é uma alternativa limpa, de baixo custo (TANDY *et al.*, 2004), fornece contenção dos lixiviados, manutenção e melhoria da estrutura física, da fertilidade e da biodiversidade do solo, e absorve metais do solo, cuja extração é dispendiosa, utilizando-se outra tecnologia (KHAN *et al.*, 2000). O sucesso da fitorremediação depende do grau de contaminação do metal no solo, da capacidade das plantas em acumularem o metal na parte aérea e da disponibilidade do metal no solo (ERNEST, 1996).

Dentre as inúmeras plantas que foram identificadas, até o momento, como hiperacumuladoras, estão incluídas algumas pertencentes à família *Euphorbiaceae* (GARBISU & ALKORTA, 2001). A mamoneira (*Ricinus communis* L.), pertencente à esta família, é uma planta com alto grau de regeneração e produção de biomassa, cultivável em

condições pouco favoráveis, no entanto, ainda não definida com hiperacumuladora. Adapta-se bem a diversos tipos de solos e de climas e o tamanho dessa planta e a flexibilidade dos seus ramos facilitam a colheita. Assim, é possível vislumbrar um cenário otimista, através das enormes possibilidades de produzir e comercializar plantas oleaginosas cultivadas em solos contaminados, ou seja, produzir matéria prima para a produção de biocombustível e, ao mesmo tempo em que se reduz a contaminação do solo, o que tornaria todo o processo produtivo mais sustentável do ponto de vista econômico e sócio-ambiental (MELO *et al.*, 2009). Entretanto, os resultados de pesquisas referentes à extração de metais pesados por plantas de mamona são ainda incipientes e preliminares, porém, a perspectiva dessas plantas serem utilizadas na fitorremediação de áreas degradadas com solos contaminados já começa a despontar no meio científico. Segundo Melo *et al.* (2009), as plantas de mamona não apresentam características próprias de plantas fitoextratoras, mas apresentam potencial de uso na fitoestabilização de áreas contaminadas com arsênio, ou seja, podem ser utilizadas para revegetação destas áreas quando os teores de arsênio forem equivalentes ao valor de intervenção para exposição agrícola (35 mg dm^{-3}) e industrial (150 mg dm^{-3}). Da mesma

forma, Khan *et al.* (1998), avaliando a capacidade fitoextratora de várias espécies de plantas, mostraram que a mamoneira é capaz de remover zinco, cádmio e níquel de solos contaminados, apesar de não ter sido considerada, nas condições em que a pesquisa foi desenvolvida, uma planta fitoextratora. Shi & Cai (2009) também fazem referência à mamona como sendo planta moderadamente tolerante à toxidez por cádmio. De acordo com as pesquisas desenvolvidas por Romeiro *et al.* (2006) e Xiaohai *et al.* (2008), a mamoneira foi considerada uma espécie hiperacumuladora de chumbo apresentando tolerância a este elemento em baixas concentrações, podendo, neste sentido, fitorremediar solos contaminados por esse metal.

Os elementos cobre e zinco são essenciais para o crescimento das plantas quando em níveis adequados, desenvolvendo importante papel na nutrição mineral, bioquímica e fisiologia das plantas, uma vez que são grupos prostéticos de enzimas ou fazem parte da estrutura de moléculas importantes (MARSCHNER, 1995). No entanto, altas concentrações destes metais nos solos, nas formas disponíveis, podem ser prejudiciais ao desenvolvimento das plantas.

Na perspectiva das plantas de mamona serem utilizadas na fitorremediação de solos contaminados por cobre e zinco, objetivou-se com o trabalho

avaliar o acúmulo e a translocação destes elementos em partes da planta de mamona da cultivar BRS Paraguaçu.

2. 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 junho a outubro de 2008, utilizando-se vasos plásticos com 25 L de capacidade, os quais foram preenchidos com 22 kg de material de solo franco-arenoso (Neossolo Quartzarênico), coletado na camada superficial do solo, tendo como características, determinadas segundo Embrapa (1997): 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 níveis de cobre (0; 25; 50; 75 e 100 mg kg⁻¹) e um outro com cinco níveis de zinco (0; 50; 100; 150 e 200 mg kg⁻¹), perfazendo, para cada um deles, um total de quinze unidades experimentais, utilizando-se como fontes dos elementos cloreto de cobre e cloreto de zinco,

respectivamente, os quais foram aplicados com a mistura ao solo antes do plantio. O solo 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, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. O fósforo e 30% da dose de potássio foram aplicados com mistura ao solo tendo, o restante da dose de potássio e a dose de nitrogênio sido parceladas em quatro e cinco vezes, respectivamente, e aplicadas em cobertura ao longo do período experimental.

Cada unidade experimental recebeu três sementes de mamona cultivar BRS Paraguaçu tendo permanecido, após o desbaste, uma planta por unidade. Durante todo o período experimental (120 dias) o solo foi mantido com umidade de 80% da água disponível.

Com o intuito de avaliar o diagnóstico nutricional da planta em relação à absorção de cobre e zinco ao longo do período experimental, aos 30; 60; 75 e 105 dias após a semeadura (DAS) foi coletada uma folha por planta - 4^a. folha a partir do ápice. Ao final do experimento, de cada unidade experimental, as plantas foram colhidas, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas. Esse todo material, depois de lavado em água destilada e seco em estufa de circulação

forçada de ar a 70 °C, até peso constante, foi pesado, moído em moinho tipo Wiley e submetido a análises químicas. Para a determinação dos teores de cobre e zinco, o material foi submetido à digestão nitroperclórica sendo estes elementos quantificados por espectrofotometria de absorção atômica. Ao final do experimento, as plantas foram colhidas, sendo o material vegetal separado em raízes, caules e folhas, o qual foi submetido aos procedimentos descritos anteriormente.

O acúmulo (A) do cobre e do zinco nas folhas, caules e raízes das plantas (μg /parte da planta) foi calculado com base na concentração do elemento e na massa seca em cada parte da planta. Por meio da quantidade total acumulada, calculou-se a porcentagem de acúmulo dos metais para cada parte da planta. De acordo com Abichequer & Bohnen (1998), calculou-se

o índice de translocação (IT) dos elementos pela equação $IT = (\text{Quantidade acumulada na parte aérea} / \text{Quantidade acumulada na planta})$.

Os dados foram analisados através da análise de variância e análise de regressão para os dados que foram significativos, utilizando-se o programa Assistat versão 7.5 beta (2008).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fitomassa das folhas, caule e raízes da mamoneira foi influenciada pelas doses de cobre, tendo o tratamento correspondente a 50 mg kg^{-1} proporcionado os maiores valores (Tabela 1). A partir deste tratamento, a fitomassa diminuiu sinalizando um provável efeito prejudicial do cobre no crescimento da mamoneira.

Tabela 1. Significância dos Quadrados Médios e peso da fitomassa das folhas, caule e raízes das plantas de mamona, em função dos tratamentos com cobre e zinco

Tratamentos (mg.kg^{-1})	Fitomassa (g.planta^{-1})		
	Folha	Caule	Raiz
	Cobre		
	*	*	*
0	42,21 ab	37,93 ab	32,32 ab
25	36,67 ab	33,36 ab	28,13 ab
50	51,52 a	43,87 a	37,12 a
75	38,58 ab	25,72 ab	26,60 ab
100	26,83 b	20,30 b	18,38 b

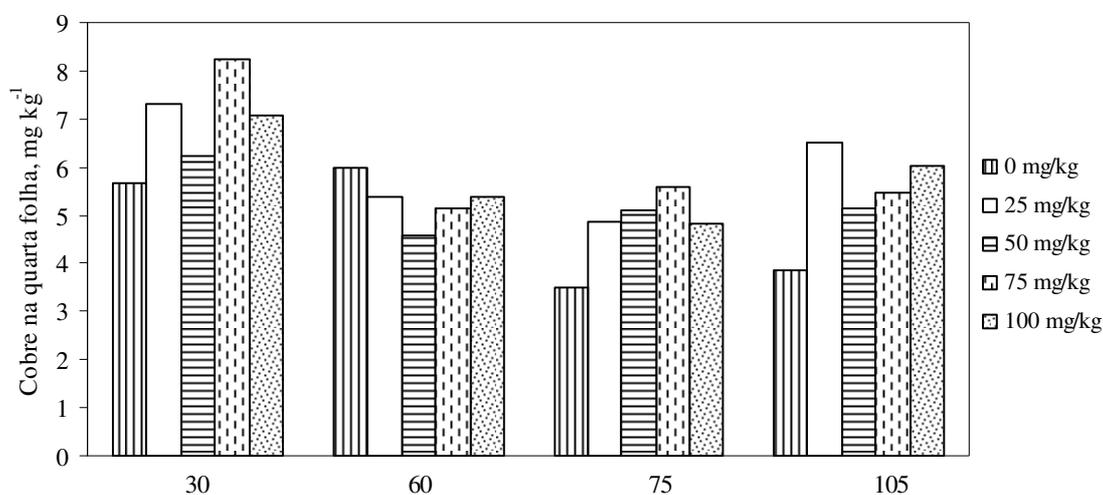
continua

Tratamentos (mg.kg ⁻¹)	Fitomassa (g.planta ⁻¹)		
	Folha	Caule	Raiz
	Zinco		
	ns	ns	ns
0	42,21 a	37,93 a	32,32 a
50	33,46 a	31,31 a	31,10 a
100	45,02 a	42,91 a	42,24 a
150	41,38 a	40,75 a	40,59 a
200	42,78 a	29,48 a	32,81 a

* significativo a 5% de probabilidade; ns não significativo, segundo o teste F.

Os teores de cobre encontrados na 4^a. folha das plantas ao longo do período experimental mostram que no início do ciclo da cultura as plantas absorveram maiores quantidades do elemento, proporcionalmente ao seu

desenvolvimento, e na medida em que as plantas foram crescendo, houve uma tendência, em geral, de diminuir a absorção do cobre e/ou a translocação do mesmo para as folhas (Figura 1).



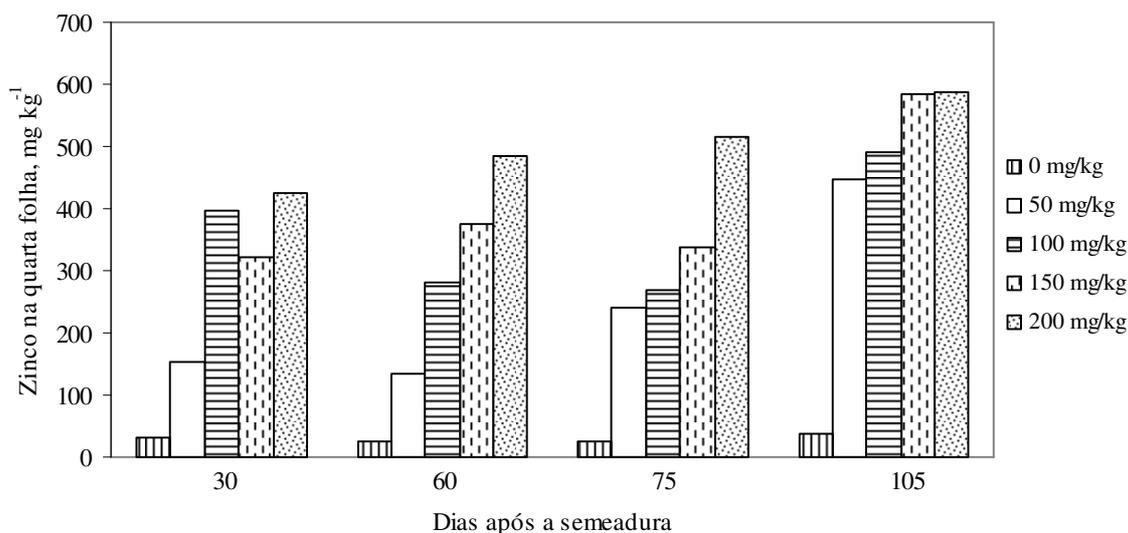


Figura 1. Teores de cobre e zinco na 4ª folha das plantas de mamona submetidas aos tratamentos crescentes dos metais, ao longo do período experimental.

Em relação aos teores de zinco encontrados na 4ª. folha das plantas, nota-se que os mesmos, em geral, aumentaram ao longo do período experimental, mostrando que as plantas continuam absorvendo e/ou translocando o elemento de forma crescente, mesmo depois da época do florescimento (em torno dos 75 DAS).

Os teores de cobre nas folhas, caule e raízes da mamona, coletas no final do experimento, foram influenciados pelos tratamentos com cobre (Tabela 2), os quais aumentaram de forma quadrática em função dos tratamentos (Figura 2 a, b) com a ressalva de que com a maior dose de cobre, houve uma diminuição no teor do elemento no caule. Comparando os teores de cobre presentes nas folhas e nas raízes das plantas que receberam a maior dose em

relação à testemunha, observou-se que houve um incremento nos teores do elemento de 265% e de 4379%, respectivamente. No caule, comparando o maior teor observado (tratamento 75 mg kg⁻¹) com o da testemunha, houve um incremento de 106%. Os maiores teores de cobre observados nas raízes corroboram com os resultados obtidos por Xiaohai *et al.* (2008) que encontraram maiores teores de cobre nas raízes de mamoneira. De acordo com Antosiewicz (1992), plantas que apresentam maior teor do cobre nas raízes, comportam-se como plantas indicadoras.

Tabela 2. Significância dos Quadrados Médios e os acumulados de cobre e de zinco nas folhas, caule e raízes das plantas de mamona, em função dos tratamentos.

Tratamentos mg kg ⁻¹	Acumulado, µg parte da planta ⁻¹		
	Folha	Caule	Raiz
Cobre			
	ns	**	**
0	130,35 a	46,57 b	205,49 b
25	159,00 a	62,47 ab	1101,05 b
50	318,71 a	106,21 a	2423,09 ab
75	240,37 a	63,16 ab	4820,81 a
100	302,17 a	25,37 b	5063,69 a
Zinco			
	**	**	**
0	2479,20 d	949,51 c	2079,31 c
50	13279,38 cd	11585,08 b	21899,56 c
100	24247,41 bc	22298,76 a	80923,03 b
150	27315,42 ab	23578,08 a	128211,50 a
200	38389,96 a	20519,59 a	111994,10 ab

*significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo, com teste F.

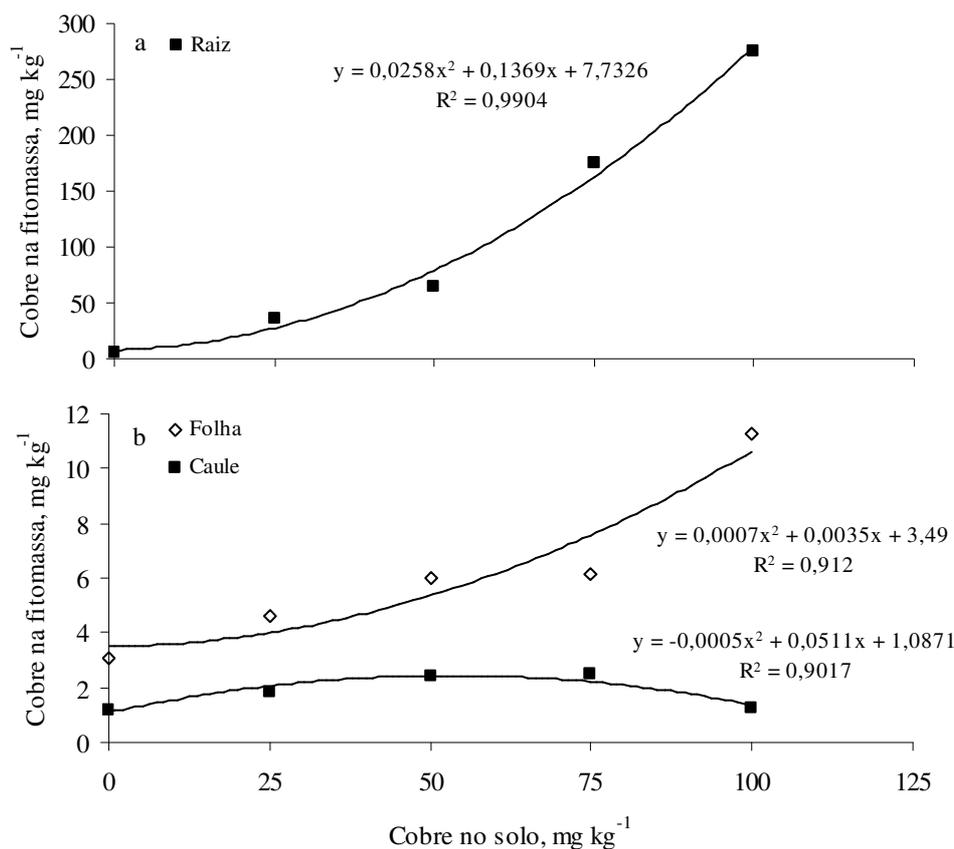


Figura 2. Teores de cobre na raiz (a), folhas e caule (b) da mamona em função das doses de cobre aplicadas ao solo.

O zinco é considerado um metal de fitotoxidez baixa a moderada; a maioria das espécies estudadas até o presente são afetadas por concentrações no tecido, que variam de 100 a 400 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1984). Com exceção da testemunha, os teores encontrados nas folhas e caules encontram-se nessa faixa ou maiores, mesmo não ter havido decréscimo na produtividade (Tabela 2). Na parte aérea como um todo (soma dos teores de zinco presentes na folha que variam de 57,32 a 898,25 mg kg⁻¹ e no caule de 25,00 a 697,17 mg kg⁻¹), o

teor do elemento variou, em média, de 83 a 1595 mg kg⁻¹ corroborando com Zeitouni *et al.* (2007), que encontraram nas partes aéreas de mamona e de girassol, adubadas com até 125 mg Zn kg⁻¹, teores do elemento variando de 51 a 1188 mg kg⁻¹ e de 50 a 1800 mg kg⁻¹, respectivamente.

Os tratamentos apresentaram efeito significativo nos teores do zinco encontrados nas folhas, caule e raízes (Tabela 2). De acordo com a análise de regressão, os teores do elemento nas folhas aumentaram de forma linear, enquanto que no caule e raízes aumentaram de forma

quadrática (Figura 3), tendo ocorrido um incremento de até 14,67 x 100 % nas folhas, de 26,89 x 100 % no caule e de 53,71 x 100 % nas raízes, quando comparado os teores de zinco nas respectivas partes das plantas que receberam o maior tratamento em relação à testemunha. Também para este elemento, os maiores teores foram observados nas raízes das plantas corroborando com

Xiaohai *et al.* (2008). Segundo Arduini *et al.* (1996), a regulação da absorção de metais pesados na rizosfera, o acúmulo desses nas raízes, desde que preservada sua integridade e funções primárias, e a baixa translocação para a parte aérea são considerados mecanismos pelos quais o sistema radicular pode contribuir para a tolerância de espécies a metais pesados.

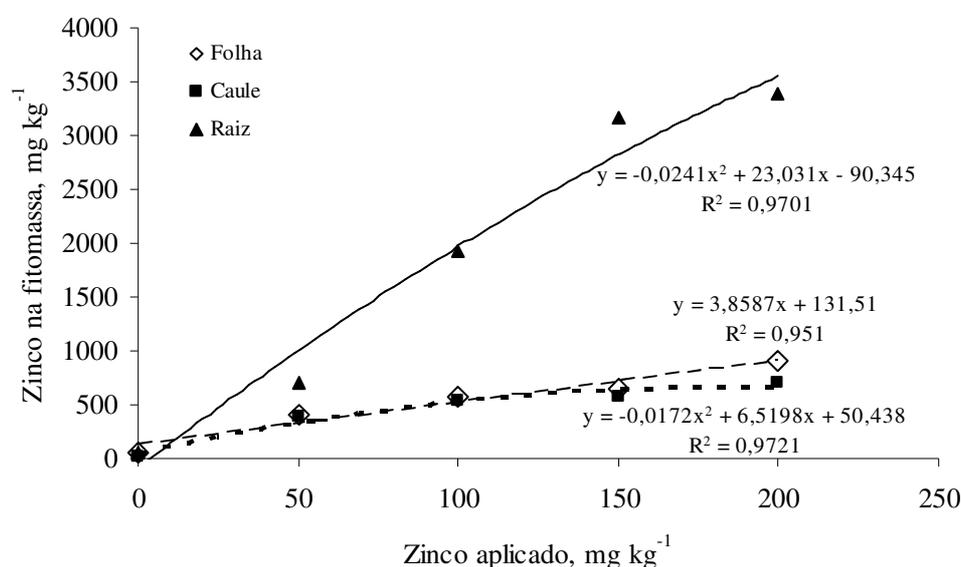


Figura 3. Teores de zinco nas folhas, caule e raízes da mamoneira em função das doses de zinco aplicadas ao solo.

A aplicação de cobre ao solo exerceu influência sobre o acúmulo do elemento nos tecidos vegetais da planta, todavia, a análise de variância das quantidades de cobre acumuladas em cada uma das partes da planta, mostrou haver diferença significativa somente entre aquelas encontradas no caule e nas raízes, tendo

ocorrido maior acúmulo nas raízes (Tabela 2).

O acúmulo do zinco nas folhas, no caule e nas raízes da mamoneira foi influenciado pelo aplicado de zinco ao solo (Tabela 2) corroborando com Hu *et al.* (2009). Os dados indicam que os maiores acúmulos relativos do elemento ocorreram

nas raízes, corroborando com Sridhar *et al.* (2007), que também encontraram maior acúmulo deste elemento nas raízes de cevada (*Hordeum vulgare*) que tem sido considerada planta acumuladora de zinco. De acordo com Aciolly & Siqueira (2000), que consideram as plantas hiperacumuladoras com concentrações, na parte aérea, acima de $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn, a mamoneira não pode ser considerada uma planta hiperacumuladora de Zn, pois a mesma não conseguiu extrair e acumular teores acima de tal referência, na parte aérea.

O índice de translocação mede a eficiência da planta em transportar um elemento da raiz para a parte aérea. Este índice diminuiu com o aumento das doses de cobre e de zinco, tendo variado de 0,48 a 0,06 e de 0,61 a 0,28, respectivamente. Xiaohai *et al.* (2008) encontrou um índice igual a 0,78 para cobre e zinco em mamoneira. O referido índice sendo superior a 1 (valor de referência) indica uma eficiente habilidade da planta em transportar os metais das raízes para a parte aérea confirmando a característica de hiperacumulação da planta (MAHMUD *et al.*, 2008, MELO *et al.*, 2009). Na Figura 4 são apresentados os valores em porcentagem do índice de translocação do cobre e zinco nas plantas submetidas aos níveis crescentes destes elementos.

Observa-se, no caso do cobre, que nas plantas submetidas aos dois maiores níveis do elemento, a translocação do mesmo, das raízes para a parte aérea, foi menor do que nos demais níveis. Segundo Kabata-Pendias & Pendias (1984), o cobre não é prontamente móvel na planta sendo sua mobilidade limitada e particularmente dependente do estado nutricional em termos de cobre e de nitrogênio. A maior parte do elemento permanece nos tecidos das raízes e folhas até a senescência, e os órgãos jovens são os primeiros a desenvolver sintomas de deficiência de cobre. De acordo com estes autores, a translocação do cobre das raízes para a parte aérea é lenta devido o elemento estar ligado fortemente às paredes celulares das mesmas. 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 4). Vale ressaltar que, em geral, a partir do tratamento correspondente a 50 mg kg^{-1} , na medida em que aumentou os níveis de cobre aplicado ao solo, diminuíram os valores acumulados nas partes aéreas das plantas (Tabela 2) o que se justifica pela diminuição no índice de translocação do elemento. Em geral, a capacidade da planta em limitar a translocação para a parte aérea é um dos mecanismos pelo qual o sistema radicular pode contribuir para a tolerância de

algumas espécies de plantas aos metais pesados.

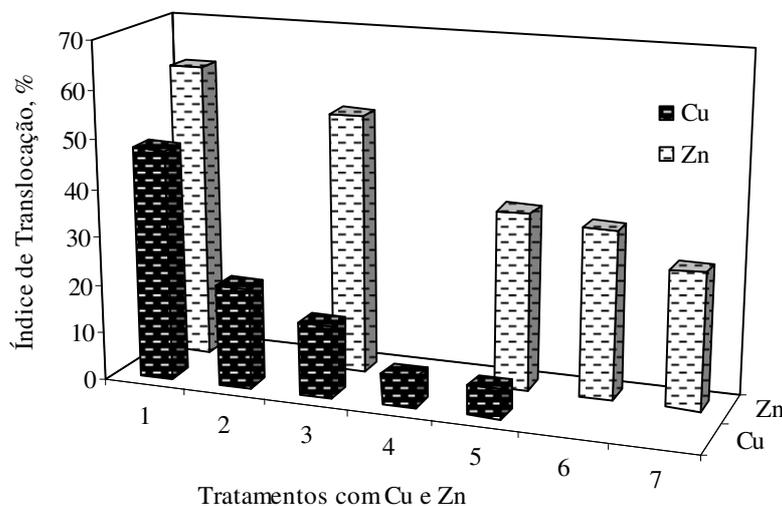


Figura 4. Índice de translocação de cobre e zinco em mamona submetido aos níveis crescentes destes elementos aplicadas ao solo (1= testemunha; 2 = 25 mg Cu kg⁻¹; 3 = 50 mg Cu, Zn kg⁻¹; 4= 75 mg Cu kg⁻¹; 5 = 100 mg Cu, Zn kg⁻¹; 6 = 150 mg Zn kg⁻¹; 7 = 200 mg Zn kg⁻¹).

No que diz respeito ao zinco, a variação dos índices de translocação em função dos tratamentos, foi gradativa, menos acentuada do que observada para o cobre (Figura 4).

Comparando os índices de translocação dos dois elementos (Figura 4), aqueles correspondentes ao zinco foram maiores que os correspondentes ao cobre, principalmente para os níveis iguais dos elementos adicionados ao solo (50 e 100 mg kg⁻¹ de Cu e Zn). Silva *et al.* (2007), também encontraram maiores valores de índice de translocação para o zinco do que para o cobre em plantas de soja cultivadas em solos contaminados por esses

elementos. Alguns autores consideram o zinco altamente móvel; outros atribuem a ele mobilidade intermediária (MARSCHNER, 1995). De fato, quando existe um grande suprimento de zinco, muitas espécies de plantas translocam quantidades apreciáveis do elemento das folhas velhas para órgãos de crescimento, mas quando as mesmas espécies estão em condições de deficiência, apresentam baixa mobilidade do nutriente nas folhas velhas (LONERAGAN, 1975).

Os valores de remoção de cobre nos tratamentos 0; 25; 50; 75 e 100 mg kg⁻¹, corresponderam a 0,28; 0,24; 0,26; 0,33 e 0,23%, respectivamente. Para o zinco, nos

tratamentos 0; 50; 100; 150 e 200 mg kg⁻¹, os valores de remoção foram 6,0; 4,3; 5,8; 5,4 e 3,9%, respectivamente. Kabata-Pendias (1995), considera uma planta acumuladora de zinco quando esta retira cerca de 1% do zinco total presente no solo. Verifica-se que neste experimento, a mamona, obteve valores de remoção deste elemento superiores ao descrito acima, logo poderá ser considerada acumuladora corroborando com Zeitouni (2003). Tendo como base o valor de 1% de remoção do cobre como referência, observa-se que a mamona não é considerada acumuladora deste elemento, uma vez que os valores de remoção do mesmo pela planta ficaram abaixo do valor de referência. De acordo com Lasat (2000), a mamona pode ser considerada uma cultura bem sucedida para descontaminar o solo, uma vez que é capaz de extrair mais do que 2% do metal no solo. Apesar disso, é interessante lembrar que a classificação das plantas como hiperacumuladoras ou acumuladoras não está relacionada apenas a alta acumulação dos metais nos tecidos das mesmas, mas também a produção de biomassa que apresentam (GREGER, 2003). Segundo Zeitouni (2003), as plantas que se desenvolvem em vasos não produzem uma grande quantidade de matéria seca, o que pode limitar a capacidade das mesmas em acumular os metais. Experimentos realizados no campo

obtêm resultados diferentes, pois as plantas no vaso não somente exploram um menor volume de solo, como também suas raízes ficam somente em contato com o solo contaminado. No campo, as raízes das plantas não se desenvolvem somente na camada contaminada pelos metais pesados, mas também exploram o solo mais profundamente, em áreas livres de contaminação, possibilitando às plantas um desenvolvimento mais pleno.

4. CONCLUSÕES

Os acúmulos de cobre e zinco nas plantas de mamona obedeceram à seguinte ordem: raiz > folha > caule.

A translocação do zinco foi maior que a do cobre nas plantas de mamona

A mamona neste estudo não se enquadra na definição de planta hiperacumuladora, porém pode ser acumuladora de zinco.

5. REFERÊNCIAS

- ABICHEQUER, A. D.; BOHNEN, H. Eficiência de absorção, translocação e utilização de fósforo por variedades de trigo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, 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. (Eds). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. p.299-351.

- ANTOSIEWICZ, D. M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals. **Acta Societatis Botanicorum Poloniae**, Poland, v. 61, n. 2, p. 281-299, 1992.
- ARDUINI, I.; GODBOLD, D. L.; ONNIS, A. Cadmium and copper uptake and distribution in Mediterranean tree seedlings. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v.97, p.111-117, 1996.
- 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.; BAÑUELOS, G. (eds). **Phytoremediation of contaminated soil and water**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. pp 85-107.
- BORGES JUNIOR, M. *et al.* Distribuição e formas de ocorrência de zinco em solos no município de Vazante – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, n.5, p. 2183-2194, 2008.
- CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. Relação de áreas contaminadas no Estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em 29 de janeiro de 2009.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- ERNEST, W. H. O. Bioavailability of heavy metals and decontamination of soils by plants. **Applied Geochemistry**, v. 11, p. 163-167, 1996.
- GARBISU, C.; ALKORTA, I. Phytoextraction: a cost effective plant-based technology for the removal of metals from the environment. **Bioresource Technology**, Essex, v. 77, n. 3, p. 229-236, 2001.
- GREGER, M. **Phytoremediation - Does it work?** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE BIOGEOCHEMISTRY OF TRACE ELEMENTS, 7., 2003, Uppsala-Sweden: SLU Service, 2003. p.10-11.
- HU, P.-J. *et al.* Tolerance, accumulation and distribution of zinc and cadmium in hyperaccumulator *Potentilla griffithii*. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 66, p.317-325, 2009.
- KABATA-PENDIAS, A. Agricultural problems related to excessive trace metal contents of soils. In: SALOMONS, W.; FORSTNER, U.; MADER, P. **Heavy metals: problems and solutions**. Berlin: Springer – Verlag, 1995. p.3-18.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315 p.
- KHAN, A. G. *et al.* Physical, chemical and biological characterization of a steelworks waste site at Port Kembla, NSW, Australia. **Water, Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v.104, n.3-4, p.389-402, 1998.
- KHAN, A. G. *et al.* Role of plants, mycorrhizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. **Chemosphere**, Oxford, v.41, p.197-207, 2000.
- LASAT, M. M. Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. **Journal of Hazardous Substance Research**, Kansas, v.2, 25 p., 2000.
- LONERAGAN, J. F. The availability and absorption of trace elements in soilplant systems and their relation

- to movement and concentration of trace elements in plants. In: NICHOLAS, D. J. D.; EGAN, A. R. (ed.). **Trace elements in soil-plant-animal systems**. London: Academic Press, 1975. p. 109-134.
- MAHMUD, R. *et al.* Assessment of potential indigenous plant species for the phytoremediation of arsenic contaminated areas of Bangladesh. **International Journal of Phytoremediation**, Texas, v.10, p.119-132, 2008.
- MARQUES, T. C. L. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 1, p.121-132, 2000.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic, 1995. 902p.
- MELO, E. E. C. *et al.* Accumulation of arsenic and nutrients by castor bean plants grown on an As-enriched nutrient solution. **Journal of Hazardous Materials**, v.168, p. 479-483, 2009.
- NEDELKOSKA, T. V.; DORAN, P. M. Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. **Minerals Engineering**, Oxford, v.13, p. 549-561, 2000.
- SHI, G.; CAI, Q. Cadmium tolerance and accumulation in eight potential energy crops. **Biotechnology Advances**, v. 27, p.555-561, 2009.
- SRIDHAR, B. B. M. *et al.* Effects of Zn and Cd accumulation on structural and physiological characteristics of barley plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 19, n.1, p. 15-22, 2007.
- ROMEIRO, S. *et al.* Lead and tolerance of *Ricinus communis* L. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campinas, v. 18, n.4, p. 483-489, 2006.
- TANDY, S. *et al.* Extraction of heavy metals from soils using biodegradable chelating agents. **Environmental Science Technology**, Iowa, v. 38, p. 937-944, 2004.
- XIAOHAI, L. *et al.* Accumulation of Pb, Cu and Zn in native plants growing on contaminated sites and their potential accumulation capacity in Heqing, Yunnan. **Journal of Environmental Science**, v. 20, p. 1469-1474, 2008.
- ZEITOUNI, C. F. **Eficiência de espécies vegetais como fitoextratoras de cádmio, chumbo, cobre, níquel e zinco de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico**. 2003. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Agrônômico, Campinas, 2003.
- ZEITOUNI, C. F.; BERTON, R. S.; ABREU, C. A. Fitoextração de cádmio e zinco de um latossolo vermelho-amarelo contaminado com metais pesados. **Bragantia**, Campinas, v.66, n.4, p. 649-657, 2007.