

INTERFERÊNCIA DE DOSES DE COBRE NO CRESCIMENTO E NA QUALIDADE DE MUDAS DE *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul E *Enterolobium contortisiliquum* Vell.INTERFERENCE OF DOSES OF COPPER ON GROWTH AND QUALITY OF *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul AND *Enterolobium contortisiliquum* Vell. SEEDLINGSRodrigo Ferreira da Silva¹ Clovis Orlando Da Ros¹ Alex Dellai² Andre Luís Grolli³
Douglas Leandro Scheid³ Patricia Viel⁴**RESUMO**

O cobre é um elemento essencial às plantas, mas quando presente em altas concentrações no solo pode se tornar tóxico ao metabolismo vegetal. Uma das estratégias para reabilitação de áreas contaminadas por metais é a fitorremediação, que consiste na introdução de espécies vegetais no solo contaminado. O trabalho objetivou avaliar a interferência de doses crescentes de cobre aplicadas ao solo no crescimento e na qualidade de mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado, com oito repetições, em arranjo fatorial (3 x 6), sendo três espécies florestais e seis doses de cobre no solo (0, 60, 120, 180, 240 e 300 mg kg⁻¹). Foram avaliados os parâmetros: altura, diâmetro de colo, massa seca aérea, massa seca radicular, área superficial específica e índice de qualidade de Dickson. Os resultados evidenciaram que as mudas de timbaúva são mais tolerantes do que as de pata-de-vaca e carne-de-vaca e apresentam melhor qualidade de mudas em doses mais elevadas de cobre. As doses de cobre reduzem com maior intensidade a altura de plantas, massa seca da parte aérea e raízes, área superficial específica e o índice de qualidade de Dickson das mudas de *Bauhinia forficata* Link e *Pterogyne nitens* Tul em relação à *Enterolobium contortisiliquum* Vell. As mudas de timbaúva toleram maiores doses de cobre no solo em relação à pata-de-vaca e à carne-de-vaca.

Palavras-chave: metais; fitorremediação; espécies arbóreas.

ABSTRACT

Copper is an essential element for the plants, but when it's present in high amounts in soil, it becomes toxic to vegetable metabolism. One of the strategies for rehabilitation of contaminated areas by metals is the phytoremediation, which consists in the introduction of vegetable species on contaminated soil. The research aimed to evaluate the interference of increasing doses of copper, applied in soil, on growth and on quality of seedling of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell. The experiment was conducted in a greenhouse, completely randomized design, with eight repetitions and

1 Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Agrônomicas e Ambientais, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. rodrigossilva@smail.ufsm.br / clovisdaros@gmail.com

2 Engenheiro Agrônomo, MSc., Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. adellai2@yahoo.com.br

3 Engenheiro Agrônomo, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Agronomia Agricultura e Ambiente, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386, Km 40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. andregrolli1990@hotmail.com / douglasscheid@gmail.com

4 Acadêmica do curso de Engenharia Florestal, Centro de Educação Superior Norte do Rio Grande do Sul, Universidade Federal de Santa Maria, Linha Sete de Setembro, s/n, BR 386, Km40, CEP 98400-000, Frederico Westphalen (RS), Brasil. pati_viel@hotmail.com

in factorial arrangement (3 x 6), which include three forest species and six copper dosages in soil (0, 60, 120, 180, 240 and 300 mg kg⁻¹). It was evaluated the following parameters: height, collar diameter, aerial dry mass, root dry mass, specific surface area and Dickson Quality Index. The results evidenced that the *Enterolobium contortisiliquum* Vell seedlings are more tolerant than *Bauhinia forficata* Link and *Pterogyne nitens* Tul seedlings and they have better quality of seedlings at higher doses of copper. Copper doses reduce with higher intensity plant height, dry mass of aerial and roots parts, specific surface area and Dickson Quality Index of seedlings of *Bauhinia forficata* Link and *Pterogyne nitens* Tul in relation to *Enterolobium contortisiliquum* Vell. Seedlings of *Enterolobium contortisiliquum* Vell are more tolerant to higher copper doses than *Bauhinia forficata* Link and *Pterogyne nitens* Tul in soil.

Keywords: metal; phytoremediation; arboreal species

INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades industriais, agrícolas e de urbanização vem aumentando a poluição do solo por metais pesados, resultando em impactos ambientais (ANDREAZZA et al., 2010). A contaminação do solo pelo metal cobre ocorre principalmente em áreas com atividades de mineração e em decorrência da aplicação de fungicidas cúpricos em pomares de videiras (CHAIGNON; HINSINGER, 2003). Quando presente no solo em concentrações acima de 100 mg kg⁻¹ para solos argilosos e de 40 mg kg⁻¹ para solos arenosos, o cobre pode induzir efeitos tóxicos, os quais se refletem em redução no estabelecimento e no desenvolvimento das plantas (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000).

Em razão dos efeitos tóxicos causados pela presença do cobre no solo, as plantas manifestam necrose nas folhas, desfolhamento precoce, redução no crescimento do sistema radicular, distúrbios fisiológicos e nutricionais (SANTOS et al., 2004; BELLION et al., 2006). Entretanto, o cobre é considerado também um elemento essencial para as plantas, cujos efeitos nutricionais incluem a participação no metabolismo de carboidratos, do nitrogênio, da síntese de lignina e de clorofila (MARSCHNER, 2011). Em razão dos efeitos nutricionais e tóxicos causados pela presença do cobre no solo, as plantas respondem de forma diferenciada à contaminação do solo por esse metal.

A fitorremediação consiste na introdução de espécies vegetais em áreas contaminadas por metais pesados, como o cobre, envolvendo menor custo e impacto ambiental em relação a outras técnicas de remediação de solos (NASCIMENTO ACCIOLY; BIONDI, 2009; BAKER et al., 1994). As espécies florestais junto com os microrganismos da rizosfera retiram, degradam ou imobilizam poluentes do solo

auxiliando na recuperação do mesmo (PILON-SMITS, 2005). Nesse sentido, algumas plantas podem tolerar níveis elevados de cobre e acumular elevadas concentrações desse metal, através do armazenamento do mesmo em seus vacúolos (ACCIOLY; SIQUEIRA, 2000). Dessa forma, as plantas são de extrema importância para reabilitação do solo contaminado com metais pesados.

No que se refere às espécies florestais nativas, a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) é uma Fabaceae, com ocorrência desde o estado do Pará até o Rio Grande do Sul. A pata-de-vaca (*Bauhinia forficata* Link) também é uma Fabaceae com ocorrência nos estados de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, sendo utilizada para lenha e ornamentação. A carne-de-vaca (*Pterogyne nitens* Tul) produz madeira moderadamente pesada, muito utilizada para móveis finos, construção civil e fabricação de carrocerias. Essas três espécies são ótimas para plantios mistos e em áreas degradadas, tendo rápido desenvolvimento inicial a campo (LORENZI, 2008). Entretanto, pouco se sabe sobre o comportamento destas espécies em solos com elevadas concentrações de cobre.

A concentração de metais considerada tóxica para as plantas vem sendo sugerida, porém, ainda são desconhecidos para plantas arbóreas tropicais nativas. Resultados de pesquisa revelaram que a *Enterolobium contortisiliquum* Vell apresenta tendência de armazenamento de cobre nas raízes e demonstra ser mais tolerante que a *Peltophorum dubium* à contaminação do solo com cobre (SILVA et al., 2011a). Nesse sentido, é possível que as espécies arbóreas nativas do bioma Mata Atlântica, além de apresentarem variação na sua capacidade de crescerem em ambiente contaminado com cobre, possam ser utilizadas para revegetação de áreas contaminadas. Neste contexto, o trabalho objetivou avaliar a tolerância das mudas de pata-de-vaca,

carne-de-vaca e timbaúva produzidas em doses crescentes de cobre aplicadas ao solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Ciências Agrônômicas e Ambientais da Universidade Federal de Santa Maria, *campus* de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil. O solo utilizado como substrato para a produção das mudas foi classificado como Latossolo Vermelho (EMBRAPA, 2006), cujas análises química e física estão apresentadas na Tabela 1.

As unidades experimentais (UE) foram compostas por tubetes plásticos de 125 cm³. As espécies arbóreas analisadas foram pata-de-vaca, carne-de-vaca e timbaúva. As sementes foram fornecidas pelo Centro de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), unidade de Santa Maria - RS. As sementes foram submetidas à superação de dormência por escarificação mecânica. Foram semeadas três sementes por tubete e quando as plântulas apresentaram um par de folhas definitivas foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma por tubete. As fertilizações foram realizadas em pré-semeadura aplicando-se o equivalente a 150 g de N, 300 g de P₂O₅ e 100 g de K₂O por m³ de substrato e, em pós-semeadura utilizando-se 200 g de N e 150 g de K₂O diluídos em 100 L de água. A aplicação em pós-semeadura foi realizada em três momentos: aos 30 dias após a germinação sendo aplicado N e K, aos 60 dias somente N e aos 90 dias aplicando-se N e K, conforme as recomendações de Gonçalves e Benedetti (2005). Utilizaram-se três irrigações diárias, mantendo-se o solo em aproximadamente 80% da capacidade de campo.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito repetições,

em arranjo bifatorial (3 x 6), sendo três espécies arbóreas nativas (pata-de-vaca, carne-de-vaca e timbaúva) e seis doses de cobre (0, 60, 120, 180, 240, 300 mg kg⁻¹ de solo), aplicadas uma vez ao solo, antecedendo em 10 dias a semeadura, na forma de solução de sulfato de cobre (CuSO₄.5H₂O) para facilitar a homogeneização dos tratamentos.

Aos 120 dias da semeadura foram avaliadas as seguintes variáveis: a) altura da parte aérea (AP), medida com régua graduada do colo da planta até o ápice caulinar; b) diâmetro do caule (DC), medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm; c) massa seca da parte aérea (MSA) e massa seca radicular (MSR), quantificadas após a separação do sistema radicular da parte aérea, na região do colo da muda e ambos secos em estufa a 60 ± 1°C até massa constante, em seguida pesadas em balança analítica com precisão de 0,001 g e d) área superficial específica das raízes (ASE), conforme Tennant (1975).

Com base nas variáveis morfológicas foi avaliada a qualidade das mudas por meio da relação entre altura da parte aérea e o diâmetro de colo (H/D) e pelo índice de qualidade de Dickson (IQD), usando a fórmula proposta por Dickson, Leaf e Hosner (1960): $IQD = \frac{MST(g)}{[AP(cm)/DC(mm)] + [MSA(g)/MSR(g)]}$, em que MST é a soma da MSA e MSR.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e, quando significativos, as médias do fator qualitativo foram comparadas pelo teste de Tukey e a do fator quantitativo pelo ajuste de equações de regressão. Para as análises dos dados foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011), tomando como base os níveis de significância maiores que 95% ($p \leq 0,05$). Para as variáveis que apresentaram ajustes lineares foram estimadas doses-resposta de cobre que induziriam a redução em 50% do crescimento das plantas (DI50) e para aquelas que apresentaram equações

TABELA 1: Análise química do solo utilizado como substrato para a produção de mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell em casa de vegetação. Frederico Westphalen - RS, 2013.

TABLE 1: Chemical analysis of the soil used as substrate for the production of seedlings of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul and *Enterolobium contortisiliquum* Vell in the greenhouse. Frederico Westphalen - RS, 2013.

pH água (1:1)	Ca + Mg	Al	H + Al	P	K	Cu	MO	Argila
	----- Cmol _c dm ⁻³ -----			----- mg dm ⁻³ -----		----- % -----		
5,4	5,4	0,4	4,3	6,6	110	15,1	2,4	81

quadráticas foi calculado o ponto de máxima ou de mínima resposta à aplicação das doses de cobre.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram interação significativa entre as espécies florestais e as doses de cobre para todas as variáveis de produção de

mudas estudadas, sendo que a timbaúva apresentou maior altura, matéria seca da parte aérea e radicular, área superficial específica e índice de qualidade de Dickson em relação à pata-de-vaca e à carne-de-vaca, com o aumento quadrático nas doses de cobre (Tabela 2, Tabela 3 e Figura 1) Silva et al. (2011a) trabalhando com timbaúva encontraram resultados semelhantes em que esta espécie apresenta estímulo

TABELA 2: Altura, massa seca da parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), área superficial específica das raízes (ASE), relação altura da parte aérea/diâmetro do colo (H/D) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell submetidas a doses de cobre aplicadas no solo. Frederico Westphalen - RS, 2013.

TABLE 2: Height, dry weight of shoot (MSA), dry weight of root system (MSR), specific surface area of roots (ASE), relation between shoot height and stem diameter (H/D) and quality index Dickson (IQD) of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul and *Enterolobium contortisiliquum* Vell seedlings, submitted to copper doses applied to the soil. Frederico Westphalen - RS, 2013.

Doses de cobre (mg kg ⁻¹)	<i>Bauhinia forficata</i>	<i>Pterogyne nitens</i>	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	<i>Bauhinia forficata</i>	<i>Pterogyne nitens</i>	<i>Enterolobium contortisiliquum</i>
Altura (cm)						
0	14,70 a	13,93 a	12,05 a	0,56 a	0,67 a	0,85 a
60	12,70 ab	8,97 b	14,56 a	0,49 b	0,52 b	1,18 a
120	11,80 a	7,55 b	14,59 a	0,42 b	0,42 b	1,23 a
180	11,38 ab	8,17 b	12,37 a	0,38 b	0,40 b	1,01 a
240	8,58 ab	6,32 b	12,25 a	0,19 b	0,25 b	0,85 a
300	7,92 ab	6,18 b	10,94 a	0,16 b	0,16 b	0,79 a
Média	11,18	8,52	12,79	0,36	0,40	0,98
CV (%)	----- 13,21 -----			----- 16,09 -----		
MSR (g)						
0	0,73 a	0,44 b	0,57 ab	22,93 a	18,86 a	34,43 a
60	0,86 a	0,38 b	0,88 a	27,53 a	14,33 b	42,46 a
120	0,57 b	0,33 c	0,87 a	19,94 b	14,09 b	40,43 a
180	0,37 b	0,30 b	0,83 a	16,79 ab	8,94 b	32,89 a
240	0,24 b	0,16 b	0,60 a	11,97 b	7,76 b	31,78 a
300	0,19 b	0,07 b	0,52 a	10,67 b	3,98 b	28,27 a
Média	0,49	0,28	0,71	18,30	11,32	35,04
CV (%)	----- 6,99 -----			----- 30,01 -----		
IQD						
0	0,27 a	0,16 a	0,29 a	4,09 b	5,54 a	3,56 b
60	0,31 a	0,18 b	0,43 a	3,74 a	3,80 a	3,60 a
120	0,22 b	0,15 b	0,44 a	3,70 a	3,99 a	3,39 a
180	0,14 b	0,14 b	0,41 a	4,12 a	3,65 ab	3,30 b
240	0,11 b	0,08 b	0,32 a	3,18 a	3,48 a	3,12 a
300	0,09 b	0,04 b	0,29 a	3,15 a	3,43 a	3,06 a
Média	0,19	0,12	0,36	3,66	3,98	3,33
CV (%)	----- 6,19 -----			----- 9,05 -----		

Em que: Médias seguidas da mesma letra, na linha e dentro de cada variável e dose avaliada, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$).

de crescimento em pequenas doses de cobre no solo, podendo amenizar o efeito tóxico deste metal por imobilização nas pectinas das raízes (COLZI et al., 2012). Silva et al. (2011b) testando doses de cobre em solo arenoso na qualidade de mudas de espécies arbóreas nativas verificaram que a aroeira-vermelha foi mais tolerante que o açoita-cavalo. Os resultados indicam que as arbóreas nativas respondem diferentemente às doses de cobre e apresentam diferente potencial para serem utilizadas em solo contaminado.

A análise de regressão mostrou que a altura das mudas foi alterada significativamente e de maneira distinta pelas doses de cobre, sendo que a pata-de-vaca apresentou redução linear com DI50

em 321 mg kg⁻¹ de cobre. A carne-de-vaca apresentou redução quadrática, enquanto que nas mudas de timbaúva houve estímulo para o seu crescimento nas doses iniciais, atingindo ponto de maior altura com 114 mg kg⁻¹ de cobre (Tabela 3, Figura 1). Este crescimento nas doses iniciais pode estar associado à tolerância da espécie ao contaminante, por meio de diferentes adaptações bioquímicas que permitem à planta tolerar concentrações desses elementos (TAIZ; ZEIGER, 2013). Silva et al. (2010) trabalhando com níveis de cobre em *Peltophorum dubium*, encontraram maior altura de planta na dose de 150 mg kg⁻¹, mas com doses acima desse valor houve redução no crescimento das mudas.

As mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca

TABELA 3: Equações de regressão, ponto de máximo (PMax) ou de mínimo (PMin) crescimento e DI50 da altura da parte aérea, massa seca da parte aérea (MSA), massa seca radicular (MSR), área superficial específica das raízes (ASE), relação altura da parte aérea/diâmetro de colo (H/D) e índice de qualidade de Dickson (IQD) das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell submetidas a doses de cobre no solo. Frederico Westphalen - RS, 2013.

TABLE 3: Regression equations, maximum point (PMax) or minimum (PMin) growth and ID50 of shoot height, shoot dry weight (MSA), root dry weight (MSR), specific surface area of roots (ASE), relation between shoot height and stem diameter (H/D) and Dickson quality index (IQD) of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell seedlings, submitted to copper doses applied to the soil. Frederico Westphalen - RS, 2013.

Espécie	Variável avaliada	Equação de regressão	PMax ou PMin (mg kg ⁻¹)	DI50 (mg kg ⁻¹)	r ²
<i>Bauhinia forficata</i>	Altura	$y = -0,022254x + 14,510$	-	321	0,96
	MSA	$y = -0,001391x + 0,578$	-	214	0,95
	MSR	$y = -0,002282x + 0,836$	-	206	0,88
	ASE	$y = -0,052932x + 26,245$	-	279	0,84
	H/D	$y = 0,000010x^2 + 0,000173x + 3,97$	9	-	0,63
	IQD	$y = -0,000751x + 0,302$	-	223	0,87
<i>Pterogyne nitens</i>	Altura	$y = 0,000111x^2 - 0,055327x + 13,146$	114	-	0,89
	MSA	$y = -0,001590x + 0,644$	-	266	0,97
	MSR	$y = -0,001212x + 0,467$	-	203	0,94
	ASE	$y = -0,047275x + 18,421$	-	190	0,97
	H/D	$y = 0,000035x^2 - 0,016099x + 5,245$	230	-	0,83
	IQD	$y = -0,000413x + 0,186$	-	257	0,82
<i>Enterolobium contortisiliquum</i>	Altura	$y = -0,000098x^2 + 0,022247x + 12,671$	-	-	0,71
	MSA	$y = -0,000014x^2 + 0,003403x + 0,930$	121	-	0,73
	MSR	$y = -0,000014x^2 + 0,003715x + 0,626$	133	-	0,83
	ASE	$y = -0,000268x^2 + 0,046792x + 36,861$	81	-	0,72
	H/D	$y = -0,001911x + 3,626$	-	966	0,94
	IQD	$y = -0,000006x^2 + 0,001764x + 0,309$	147	-	0,84

Em que: PMax ou PMin = obtido pelas equações de regressão de segundo grau. DI50 = dose de cobre que reduz em 50% a variável morfológica e a qualidade das mudas, com base na equação linear de regressão.

apresentaram redução linear na massa seca da parte aérea e radicular com as doses de cobre (Tabela 3, Figura 1). Contudo, observa-se que os valores de DI50 da parte aérea foram superiores em relação ao sistema radicular. Provavelmente a redução da massa seca das plantas não é devido a uma toxidez direta de Cu, mas pode ser em decorrência de deficiência nutricional induzida por lesões nas raízes provocadas pelos elevados teores de Cu no solo (KOPITKE; MENZIES, 2006). Desse modo o sistema radicular das mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca é mais afetado do que a parte aérea.

Nas mudas de timbaúva houve incremento na massa seca da parte aérea e radicular até as doses

de 121 e 133 mg kg⁻¹ de cobre adicionado no solo, respectivamente (Tabela 3, Figura 1). Isso pode estar indicando maior adaptação desta espécie às doses de cobre, semelhante ao cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.) no trabalho de Caires et al. (2011), que apresentou incremento na produção de massa seca da parte aérea até a dose de 233 mg kg⁻¹ de cobre no solo. Branzini, González e Zubillaga (2012) verificaram que *Sesbania virgata* acumula cobre nas raízes, apresentando baixo índice de translocação, que reduz com o aumento da quantidade de cobre. Nesse caso, é possível que a timbaúva apresente algum mecanismo de desintoxicação ou de imobilização (MILLALEO et al., 2010), ou que

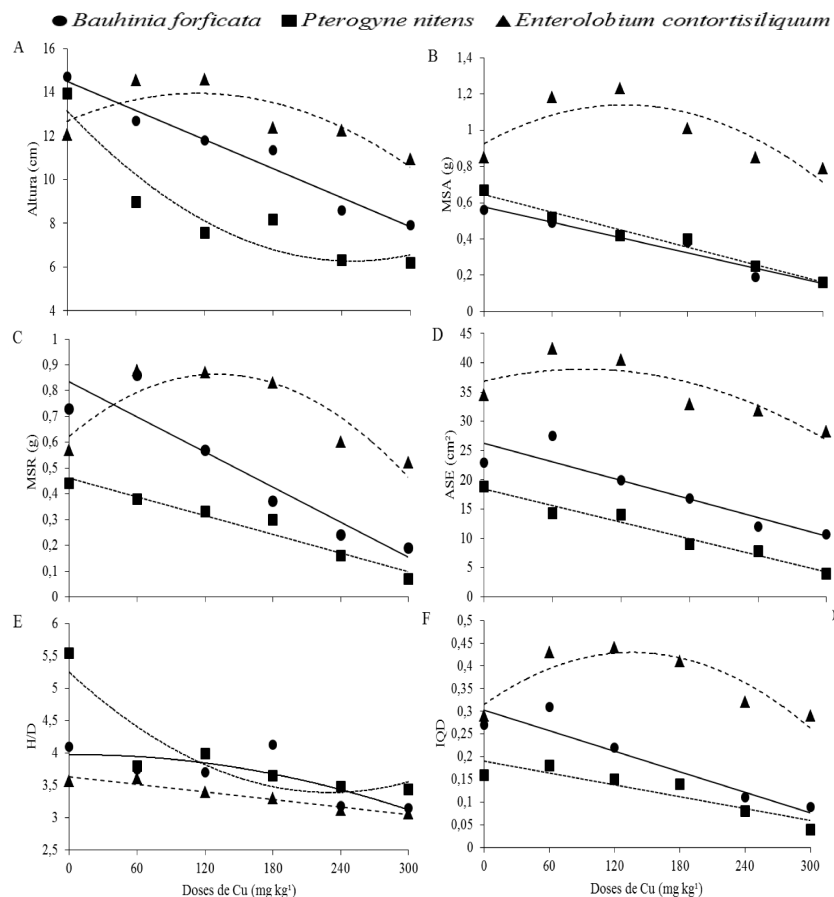


FIGURA 1: Altura (A), massa seca da parte aérea – MSA (B), massa seca da raiz-MSR (C), área superficial específica – ASE (D), relação altura/diâmetro - H/D (E), índice de qualidade de Dickson – IQD (F) das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a doses de cobre no solo. Frederico Westphalen - RS, 2013.

FIGURE 1: Height (A), dry weight of shoot - MSA (B), dry weight of root - MSR (C), specific surface area - ASE (D), height / diameter - H / D (E), index Dickson quality - IQD (F) of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul and *Enterolobium contortisiliquum* seedlings, submitted to copper doses applied to the soil. Frederico Westphalen - RS, 2013.

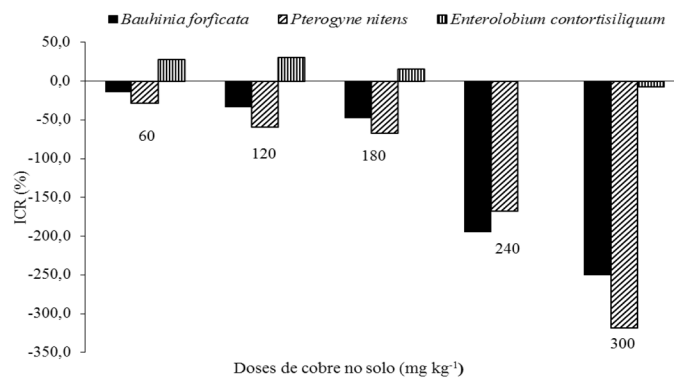


FIGURA 1: Índice de crescimento relativo (ICR) da massa seca da parte aérea das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* com as doses de cobre aplicadas no solo. Frederico Westphalen - RS, 2013.

FIGURE 1: Relative Growth Index (ICR) of the shoot dry weight of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul and *Enterolobium contortisiliquum* Vell seedlings with doses of copper applied to the soil. Frederico Westphalen - RS, 2013.

absorva menos cobre em comparação à pata-de-vaca e à carne-de-vaca.

A análise de regressão também revelou redução linear para a área superficial específica das raízes das mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca, com DI50 em 190 e 279 mg kg⁻¹ de cobre no solo, respectivamente, e aumento até a dose de 81 mg kg⁻¹ de cobre no solo na timbaúva (Tabela 3, Figura 1). Desse modo, pode-se inferir que o aumento na área superficial específica radicular, somado ao incremento na massa seca radicular das mudas de timbaúva possibilita uma expansão radicular, com produção de raízes finas quando cultivada em solo contaminado com baixas doses de cobre e em comparação às demais espécies testadas neste trabalho. Nesse caso, o maior desenvolvimento do sistema radicular em solo contaminado é desejável (CAIRES et al., 2011), pois possibilita maior absorção de água e nutrientes. Mesmo que o incremento na área superficial específica seja em consequência do estímulo ao desenvolvimento de raízes secundárias, devido ao contato com barreiras químicas, como o excesso de cobre na rizosfera, que cessam o crescimento longitudinal formando novas raízes secundárias (TAIZ; ZEIGER, 2012), a timbaúva demonstra ser uma espécie que se adapta ao crescimento em doses altas de cobre, semelhante ao *Luehea divaricata* Mart. & Zucc no trabalho de Silva et al. (2011b).

As mudas de carne-de-vaca apresentaram redução máxima na relação altura/diâmetro (H/D)

na dose de 230 mg kg⁻¹ de cobre. As mudas de pata-de-vaca começaram a reduzir a partir da dose de 9 mg kg⁻¹ de cobre no solo, enquanto que a timbaúva apresentou decréscimo linear com as doses crescentes de cobre, com DI50 em 966 mg kg⁻¹ (Tabela 2, Tabela 3 e Figura 1). Embora tenha ocorrido variação na relação altura/diâmetro do colo das espécies arbóreas testadas, os valores encontrados, inclusive na concentração natural do solo de cobre, estão abaixo da faixa considerada adequada, que é de 5,4 a 8,1 (CARNEIRO, 1995). Entretanto, Bomfim et al. (2009) encontraram valores superiores de H/D em comparação aos obtidos neste trabalho para mudas de carne-de-vaca. A alta dose de cobre necessária para reduzir em 50% a relação altura/diâmetro, indica que a timbaúva é uma espécie com maior desenvolvimento em solos contaminados com cobre, em relação às demais testadas neste trabalho.

A qualidade das mudas das espécies florestais também foi afetada de maneira diferente em função das doses de cobre. As mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca apresentaram redução linear no IQD com as doses de cobre, com DI50 em 279 mg kg⁻¹ e 257 mg kg⁻¹, respectivamente, enquanto a timbaúva apresentou médias significativamente superiores às demais espécies, com ponto de máxima em 147 mg kg⁻¹ de cobre no solo (Tabela 2, Tabela 3 e Figura 1). Silva et al. (2012) trabalhando com diferentes doses de cobre também verificaram tendência de ponto de máxima resposta para o

IQD das mudas de *Ateleia glazioviana* e *Lafoensia pacari*. Os resultados obtidos para a timbaúva estão acima de 0,2, considerado como valor mínimo ideal de qualidade de mudas para transplante a campo (CRUZ et al., 2004), independentemente da dose de cobre. O IQD é considerado um dos melhores índices de qualidade de mudas por considerar no cálculo a robustez e o equilíbrio da distribuição da biomassa das mudas (FONSECA et al., 2002). As mudas de timbaúva apresentam médias significativamente superiores nos parâmetros altura, MSA e MSR e estes estão envolvidos no cálculo do IQD, desta forma, essa espécie apresenta maior crescimento que as mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca em solo contaminado com cobre.

Os índices de crescimento relativo da massa seca da parte aérea revelaram redução no crescimento das mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca com o aumento das doses de cobre no solo, com decréscimo de 250 e 318 %, respectivamente, na dose mais elevada de cobre e acréscimo nas mudas de timbaúva até 180 mg kg⁻¹ de cobre com redução nas doses mais altas. O cobre tem baixa translocação à parte aérea na timbaúva (SILVA et al., 2011a). Desse modo, é provável que até a dose de 180 mg kg⁻¹ testada neste trabalho, o cobre tenha ficado retido nas raízes, não sendo suficiente para afetar a cadeia transportadora de elétrons do fotossistema I, conforme relatado por Kabata-Pendias e Pendias (2001), assim, as mudas de timbaúva não reduziram o seu crescimento apical nas doses iniciais de cobre, indicando ser uma espécie vegetal com tolerância a doses de cobre em relação à pata-de-vaca e à carne-de-vaca.

CONCLUSÃO

As doses crescentes de cobre no solo interferem negativamente e com maior intensidade no crescimento e qualidade das mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca em relação à timbaúva.

As mudas de timbaúva toleram maiores doses de cobre no solo em relação à pata-de-vaca e à carne-de-vaca.

AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado, ao CNPQ, FAPERGS e UFSM pelas bolsas de iniciação científica dos Programas PIBIC, PROBIC e FIPE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p. 299-352.
- ANDREAZZA, R. et al. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, Oxford, v. 81, p. 1149-1154, 2010.
- BAKER, A. J. M. et al. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metal accumulating plants. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 11, p. 41-49, 1994.
- BELLION, M. et al. Extracellular and cellular mechanisms sustaining metal tolerance in ectomycorrhizal fungi. **FEMS Microbiology Letters**, Oxford, v. 254, p. 173-181, 2006.
- BOMFIM, A. A. et al. Avaliação morfológica de mudas de Madeira-Nova (*Pterogyne nitens* tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v. 39, p. 33-40, 2009.
- BRANZINI, A.; GONZÁLEZ, R. S.; ZUBILLAGA, M. Absorption and translocation of copper, zinc and chromium by *Sesbania virgata*. **Journal of Environmental Management**, v. 102, p. 50-54, jul. 2012.
- CAIRES S. M. et al. Desenvolvimento de mudas de cedro-rosa em solo contaminado com cobre: tolerância e potencial para fins de fitoestabilização do solo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1181-1188, 2011.
- CHAIGNON, V.; HINSINGER, P. A. Biotest for evaluating for bioavailability to plants in a contaminated soil. **Journal of environment quality**. Madison, v. 32, p. 824 -833, mai./jun. 2003.
- CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- COLZI, I. et al. Copper tolerance strategies involving the root cell wall pectins in *Silene paradoxa* L. **Environmental and Experimental Botany**, v. 78, p. 91-98, maio 2012.
- CRUZ, C. A. F. et al. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, v. 66, p. 100-107, 2004.
- DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality

- appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Mattawa, v. 36, n. 1, p. 10-13, mar. 1960.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, 2006. 412 p.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FONSECA, E. P. et al. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, jul./ago. 2002.
- GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e Fertilização Florestal**. Piracicaba: [s. n.], 2005. 427 p.
- KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2001. 315 p.
- KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 279, n. 1/2, p. 287-296, 2006.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v. 2.
- MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam: Elsevier/Academic Press, 2011. 684 p.
- MILLALEO, M. et al. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Temuco, v. 10, n. 4, p. 470-481, 2010.
- NASCIMENTO, C. W. A.; ACCIOLY, A. M. A.; BIONDI, C. M. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa: SBCS, 2009. v. 6, p. 461-495.
- PILON-SMITS, E. Phytoremediation. **Annual Revisions in Plant Biology**, Palo Alto, v. 56, p. 15-39, 2005.
- SANTOS, H. P. et al. **Comportamento fisiológico de plantas de aveia (*Avena strigosa*) em solos com excesso de cobre**. Bento Gonçalves: EMBRAPA Uva e vinho, 2004. 10 p. (Comunicado Técnico, n. 49).
- SILVA, R. F. et al. Comportamento de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert, *Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong Cultivadas em Solo Contaminado com Cobre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, p. 105-112, 2011a.
- SILVA, R. F. et al. Crescimento e qualidade de mudas de Timbó e Dedaleiro cultivadas em solo contaminado por cobre. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, p. 881-886, 2012.
- SILVA, R. F. et al. Influência da contaminação do solo por cobre no crescimento e qualidade de mudas de Açoita-Cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.) E Aroeira-Vermelha (*Schinus therebinthifolius* Raddi). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 111-118, jan./mar. 2011b.
- SILVA, R. F. et al. Tolerância de mudas de canafistula (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.) inoculada com *Pisolithus microcarpus* a solo com excesso de cobre. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, 2010.
- TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. São Paulo: Artmed, 2012. 954 p.
- TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, Oxford, v. 63, n. 3, p. 995-1001, nov. 1975.