

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE – RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA-
AGRICULTURA E AMBIENTE**

Andre Luís Grolli

**ARBÓREAS NATIVAS E SUBSTRATOS AMENIZANTES DA
CONTAMINAÇÃO DO SOLO COM COBRE**

Frederico Westphalen, RS
2016

Andre Luís Grolli

**ARBÓREAS NATIVAS E SUBSTRATOS AMENIZANTES DA CONTAMINAÇÃO
DO SOLO COM COBRE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Ferreira da Silva

Frederico Westphalen, RS
2016

Andre Luís Grolli


**ARBÓREAS NATIVAS E SUBSTRATOS AMENIZANTES DA CONTAMINAÇÃO
DO SOLO COM COBRE**

Dissertação apresentada ao Curso de
Mestrado do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia - Agricultura e Ambiente, da
Universidade Federal de Santa Maria
(UFSM, RS), como requisito parcial para
obtenção do grau de **Mestre em Agronomia**.

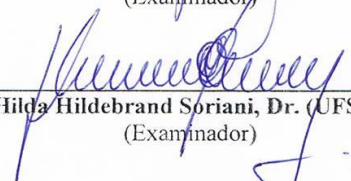
Aprovado em 29 de fevereiro de 2016:



Rodrigo Ferreira da Silva, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Claudir José Basso, Dr. (UFSM)
(Examinador)



Hilda Hildebrand Soriani, Dr. (UFSM)
(Examinador)

Frederico Westphalen, RS
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo (a) autor(a).

De Andre Luís Grolli

Arbóreas Nativas e Substratos Amenizantes da Contaminação do Solo com Cobre / Andre Luís Grolli. - 2016.

65 p.; 30cm

Orientador: Rodrigo Ferreira da Silva

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente, RS, 2016

1. Timbaúva 2. Cama de aviário 3. Metal pesado 4. Amenizantes I. Ferreira da Silva, Rodrigo II. Título.

© 2016

Todos os direitos reservados a Andre Luís Grolli. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro, s/n – BR 386 km 40, Frederico Westphalen – RS. CEP 98400-000.

Email:andregrolli1990@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade da existência.

Aos meus pais Dirceu Grolli e Iva Ana Erdmann Grolli por todo o apoio, incentivo aos estudos e exemplo de vida.

A minha irmã Claudiana Grolli pelo apoio e incentivo.

A Minha noiva Maristela da Costa pelo incentivo e ajuda nas horas difíceis.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Agricultura e Ambiente (PPGAAA), pela oportunidade de cursar o ensino público de qualidade.

Ao professor orientador Rodrigo Ferreira da Silva pela orientação, confiança, incentivo e apoio prestado no decorrer do Mestrado.

Ao professor Clovis Orlando Da Ros pela orientação no trabalho.

Aos professores do PPGAAA, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao professor Renato Trevisan e Edison Rogério Perrando pela área experimental.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela concessão da bolsa.

Aos amigos Alex Dellai, Gilvan Bertollo, Rudinei de Marco, Hazael Soranzo de Almeida, Douglas Scheid, Marco Antoni pelas conversas, troca de ideias e aos momentos de descontração.

Aos colegas do grupo de pesquisa, Gilvan Bertollo, Douglas Scheid, Rudinei de Marco, Patrícia Viel, Marieli Grancke, Bruna Grade, Bruna Sanini, Daiana Correa, Joseane Sarmento, Giovanna Machado, Toniel Ohlweiler, Daniel Boeno, Mateus Vanzan e outros pelo auxílio a realização dos trabalhos.

Aos laboratoristas Lucindo Somavilla e Marcela Torchelsen.

Ao Centro de Pesquisas Florestais da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO), unidade de Santa Maria, pelo fornecimento das sementes.

Ao Grupo AGROS pelo suporte e disponibilidade de horário para a elaboração da dissertação.

Enfim a todos que de uma forma ou outra contribuíram para a realização e conclusão deste trabalho.

RESUMO

TOLERÂNCIA DE ARBÓREAS NATIVAS SUBMETIDAS A SUBSTRATOS AMENIZANTES DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE

AUTOR: Andre Luís Grolli
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

Tem sido evidenciado um aumento em áreas contaminadas com cobre e este fato tem contribuído negativamente para o estabelecimento de plantas, sendo necessários estudos de alternativas para reutilização destas áreas. Diante disso, o objetivo desse trabalho foi possibilitar o uso de amenizantes de contaminação na produção de mudas de espécies nativas em solo contaminado com cobre. Para atender o objetivo foram realizados três experimentos. O primeiro envolveu a avaliação da interferência de doses crescentes de cobre aplicado ao solo no crescimento e na qualidade de mudas de *Bauhinia forficata* Link (pata de vaca), *Pterogyne nitens* Tul (carne de vaca) e *Enterolobium contortisiliquum* Vell. (timbaúva) No segundo experimento avaliou-se o efeito de proporções de cama de aves nos atributos químicos do solo e morfológicos de crescimento de mudas de timbaúva e o terceiro experimento avaliou-se o efeito da cama de aviário e a mistura de cama de aviário com substrato comercial como amenizante de cobre no solo e o potencial de *Enterolobium contortisiliquum* para descontaminação. As mudas de timbaúva toleram maiores doses de cobre no solo em relação à pata de vaca e carne de vaca. A adição de aproximadamente 36% de cama de aviário ao substrato comercial e de 33% à turfa possibilita aumento nos parâmetros morfológicos de mudas de timbaúva. A utilização cama de aviário + substrato comercial foi eficiente como amenizante da contaminação do solo com cobre. Os parâmetros morfológicos, foram estimulados com a adição de cama de aviário + substrato comercial, obtendo os melhores resultados com a dição de 20 a 30 % em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo.

Palavras chaves: Timbaúva. Cama de Aviário. Metal pesado. Amenizantes.

ABSTRACT

WOODY NATIVE SPECIES TOLERANCE TO CONTAMINATED SOIL WITH COPPER WITH AMENDMENTS

AUTHOR: ANDRE LUIS GROLLI
ADVISOR: RODRIGO FERREIRA DA SILVA

More contaminated areas with copper were discovered and this had contributed negatively for plants establishment, so more studies are need to reutilize this areas. Thus, the objective of this work is to enable the attenuation of the contamination on native woody seedlings production in contaminated soil with copper. Three experiments were realized. The first involving the evaluation of the growth and quality of *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul and *Enterolobium contortisiliquum* Vell. seedlings in soil with dosis of copper. On the second work, the effect of broiler litter was evaluated on soil chemical attributes and the growth of *E. contortisiliquum* seedling. On the third, the effect of broiler litter (CA) and mix of broiler litter with commercial substrate (CA+SC) evaluated to attenuation of copper contamination in soil and *E. contortisiliquum* potential to descontamination the soil. *E. contortisiliquum* had more tolerance to high copper dosis than *B. forficata* and *P. nitens*. The addition of 36% of CA on the SC and 33% on the peat enables increasing on morphological parameters of *E. contortisiliquum* seedlings. The utilization of the CA+SC was efficient to attenuation of the copper contamination. The morphological parameters was stimulated by the addition of the mix, with better results in 20 and 30% in contaminated soil with 400 mg of kg⁻¹ of soil.

Keywords: *Enterolobium contortisiliquum*. Broiler litter. Heavy metal.

LISTA DE FIGURAS

- 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. 26
- Figura 2 – 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. 28
- Figura 3 – Equações de regressão para a altura (A), diâmetro do colo – DC (B), massa seca da parte aérea – MSPA (C), massa seca da parte radicular – MSPR (D), área superficial específica - ASE (E) e índice de qualidade de Dickson – IQD (F) em mudas de timbaúva em diferentes proporções de cama de aviário em relação ao substrato comercial e a turfa, Frederico Westphalen, RS, 2016. 38
- Figura 4 – Índice de eficiência relativa ICR da altura e ICR MST (Mssa Seca Total) das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* em diferentes proporções de cama de aviário em relação ao substrato comercial e a turfa, Frederico Westphalen, RS, 2016. 40
- Figura 5 – Equações de regressão para a altura (A), massa seca da parte aérea - MSPA (B), Área Superficial específica ASE (C) massa seca da parte Raiz - MSPR (D) em mudas *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de proporções dos substratos cama de aves + substrato comercial (CA + SC) e cama de aves (CA). Frederico Westphalen, RS, 2016.*Somente equações de regressão com $r^2 > 0,60$ foram apresentadas. 50
- Figura 6 – Equações de regressão para as proporções de substrato adicionado a solo contaminado com 400 mg de Cu e comparação de médias entre os substratos cama de aves + substrato comercial (CA+SC) e cama de aves (CA) para o Índice de Qualidade de Dickson – IQD (B) em mudas *Enterolobium contortisiliquum*. Frederico Westphalen, RS, 2016. 51
- Figura 7 – Comparação de média entre os substratos cama de aves + substrato comercial (CA+SC) e cama de aves (CA) para carotenóides (mg g^{-1} massa fresca) (A), clorofila total ($a+b$) (B), Taxa de transporte de elétrons a mais alta radiação (ETR1500) (C) e eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv/Fm) (D) em mudas *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de doses crescente de substratos. Frederico Westphalen, RS, 2016. 52
- Figura 8 – Teor de cobre na parte aérea - CuPA (A) e teor de cobre na raiz - CuR (B), em mudas *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de proporções dos substratos cama de aves + substrato comercial (CA + SC) e cama de aves (CA). Frederico Westphalen, RS, 2016.*Somente equações de regressão com $r^2 > 0,60$ foram apresentadas. 53

LISTA DE TABELAS

- 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.....20
- 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, 2013.23
- 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, 2013.25
- Tabela 4 - Análise química dos substratos utilizados para o desenvolvimento das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. Frederico Westphalen, RS, 2016.....36
- Tabela 5 - Análise química do solo e cama de aviário utilizado para o desenvolvimento das mudas de *Enterolobium contortisiliquum*. Frederico Westphalen, RS, 2016.....48

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO GERAL | 10 |
| 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 12 |
| 2.1 COBRE NO SOLO..... | 12 |
| 2.2 COBRE E ESPÉCIES ARBÓREAS | 13 |
| 2.3 CAMA DE AVIÁRIO E AMENIZANTES DE SOLOS CONTAMINADOS..... | 15 |
| 3 CAPÍTULO I | 17 |
| 3.1 INTRODUÇÃO..... | 19 |
| 3.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 20 |
| 3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 22 |
| 3.5 CONCLUSÃO..... | 28 |
| 3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 29 |
| 4 CAPÍTULO II | 32 |
| 4.1 INTRODUÇÃO..... | 34 |
| 4.2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 35 |
| 4.3 RESULTADOS DE DISCUSSÕES | 37 |
| 4.4 CONCLUSÃO..... | 41 |
| 4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 41 |
| 5 CAPÍTULO III | 44 |
| 5.1 INTRODUÇÃO..... | 46 |
| 5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 49 |
| 5.4 CONCLUSÕES | 54 |
| 5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 54 |
| 6 DISCUSSÃO | 58 |
| REFERÊNCIAS BLBLOGRÁFICAS | 60 |

1 INTRODUÇÃO GERAL

No Brasil a contaminação do solo com cobre (Cu) vem aumentando por ocasião das atividades antrópicas e no Rio Grande do Sul solos contaminados estão localizados principalmente nas áreas de viticultura em função da aplicação de fungicidas cúpricos em pomares de videira e nas minas de Camaquã a qual foi explorada pela mineração de cobre e ouro. O cobre quando presente em elevadas concentrações no solo, torna-se tóxico às plantas e causa redução no seu desenvolvimento, contaminação de águas superficiais e pode também entrar na cadeia alimentar. Desta forma, o estudo de alternativas que reduzem a concentração ou a disponibilidade de cobre no solo é indispensável.

Existem várias técnicas para a recuperação de solos contaminados com metais pesados, a fitorremediação é uma técnica que utiliza espécies florestais arbóreas para recuperar ambientes degradados ou poluídos, para isso é necessário que as espécies arbóreas apresentem algumas características importantes, como sistema radicular vigoroso e grande produção de biomassa. No Brasil os trabalhos que avaliam a resposta de espécies arbóreas nativas em solo contaminado com cobre e a capacidade destas em se desenvolver em áreas degradadas com metal pesado são escassos. Desta forma estudos de espécies arbóreas nativas que consigam se desenvolver em áreas degradadas torna-se necessário.

O cobre em alta concentração dificulta o estabelecimento de plantas utilizadas para a descontaminação do solo. Para isso a fitoestabilização é uma técnica que possibilita também, a utilização de agentes amenizantes, que tem por objetivo estabilizar os metais, reduzindo a disponibilidade do metal pesado para a planta. Diante disso, a utilização de cama de aviário como fonte de matéria orgânica, pode ser uma alternativa para a redução da disponibilidade de metais no solo. Além disso, a cama de aviário possibilitará condições para maior atividade microbiana e provocar alterações nas propriedades químicas e físicas do substrato, auxiliando no estabelecimento de plantas em solo contaminado com cobre.

Para o desenvolvimento deste trabalho foram consideradas as seguintes hipóteses; a cama de aviário pode influenciar positivamente para o desenvolvimento de mudas de espécies arbóreas nativas do estado do Rio Grande do Sul, é possível o desenvolvimento de mudas de espécies florestais nativas em solo contaminado com cobre e a adição de cama de aviário no solo contaminado com cobre diminui a toxicidade do mesmo e permite o desenvolvimento de mudas de espécies florestais nativas.

No Rio Grande do Sul e em nível de Brasil tem-se uma carência de estudos que possam selecionar espécies arbóreas tolerantes a solos com alta concentração de metal no solo. Nesse

sentido, o objetivo desse trabalho foi possibilitar o uso de amenizantes de contaminação na produção de mudas de espécies arbóreas nativas em solo contaminado com cobre.

Para atender as hipóteses e os objetivos propostos neste trabalho foram realizados três experimentos com espécies arbóreas do Rio Grande do Sul. O experimento envolveu a análise do crescimento de mudas de Pata de Vaca (*Bauhinia forficata* Link) e Carne de Vaca (*Pterogyne nitens* Tul) em relação à Timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell) em solo contaminado com doses crescentes de cobre; O segundo trabalho avaliou o efeito de proporções de cama de aves nos atributos químicos do solo e morfológicos de crescimento de mudas de Timbaúva; E o terceiro experimento avaliou a cama de aviário e sua mistura ao substrato comercial como amenizante de cobre no solo e o potencial de *Enterolobium contortisiliquum* para fitorremediação.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COBRE NO SOLO

Conhecer a dinâmica e quantificar as formas do Cu no solo torna-se importante, em função deste ser uma fonte primária de nutrientes para as plantas e toda a cadeia alimentar. Contudo, solo com elevado teores de metais, resultante das ações antrópicas representam risco ao meio ambiente, à cadeia trófica e a saúde pública (HOODA, 2010; SEGANFREDO 2013).

O Cu apesar de encontrado naturalmente no solo é essencial ao crescimento das plantas, podendo ser tóxicos quando em concentrações elevadas. E, em condições naturais do solo, o Cu se encontra principalmente adsorvido às frações orgânica, inorgânica e residual, através de ligações com alto grau de energia, sendo poucos disponíveis a absorção das plantas (GIROTTO et al., 2010). A disponibilidade do cobre está diretamente relacionada à força de interação com os diferentes componentes do solo. Para o cobre, a sorção máxima, que corresponde ao acúmulo do elemento na interface solo-solução, é diferenciada entre os constituintes e diminui na seguinte ordem: óxidos de Mn > matéria orgânica > óxidos de Fe > argilominerais (BRADL, 2004). Entretanto, o acúmulo deste elemento no solo, principalmente em formas solúveis e biodisponíveis na solução do solo, apresenta alto potencial de toxidez às plantas e contaminação do ambiente (GIROTTO et al., 2010).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2015) estabelece como área contaminada o local que contenha quantidades ou concentrações de quaisquer substâncias ou resíduos em condições que causem ou possam causar danos à saúde humana, ao meio ambiente ou a outro bem a proteger e ainda, que nela tenham sido depositados, acumulados, armazenados, enterrados ou infiltrados de forma planejada, acidental ou até mesmo natural. Conforme a resolução nº 420 (CONAMA, 2009) para o cobre, os valores de investigação são 200 mg kg⁻¹ para áreas agrícolas, 400 mg kg⁻¹ para áreas residenciais e 600 mg kg⁻¹ para áreas industriais.

Segundo Hugen et al. (2013), os metais pesados presentes no solo têm origem natural nas rochas (calcopirita, cuprita, malaquita, calcosite entre outras). Entre as fontes naturais de metais, podem ser destacadas as deposições provenientes do intemperismo das rochas, incluindo erosão e ação eólica, erupções vulcânicas, incêndios florestais e fontes biogênicas (HOODA, 2010). Campos et al. (2003), analisando 19 Latossolos de várias regiões brasileiras e formados a partir de vários materiais de origem, observaram grandes variações de cobre, sendo encontrado teores entre 3 e 238 mg de Cu kg⁻¹ de solo.

Como principais fontes antrópicas de metais podem ser enumeradas extração de minérios, incineração de resíduos, processamentos industriais de matérias-primas contendo metais (HOODA, 2010), bem como, os agroquímicos, fertilizantes e resíduos orgânicos, dejetos animais, resíduos industriais e também, outras fontes orgânicas aplicadas no solo (TRAK, 2010).

No estado do Rio Grande do Sul, a contaminação com elevadas concentrações de Cu ocorrem na serra do nordeste, para o controle de fungos nas áreas de vitivinicultura, e na serra do sudeste, nas áreas de mineração de cobre (ANDREAZZA et al., 2015). Com aplicações sucessivas para o controle da doença, a concentração do cobre no solo tem aumentado proporcionalmente com a idade da produção agrícola (MIRLEAN et al., 2007). Diante disso, observa-se a necessidade da realização de pesquisas que envolvam o uso de organismos vivos na tentativa de reabilitação de áreas contaminadas.

2.2 COBRE E ESPÉCIES ARBÓREAS

As plantas respondem diferenciadamente a solos contaminados com cobre. O cobre é um elemento essencial para produtividade em plantas e participa do metabolismo de carboidratos, do nitrogênio, da síntese de lignina e de clorofila (GRASSI, 2005), é um componente de diversas enzimas que catalisam o fluxo de elétrons e as reações de oxirredução nas células (GIROTTO, 2010). O Cu é um cofator de várias enzimas, tais como superóxido dismutase (SOD), citocromo oxidase, amino oxidase, lacases, plastocianinas e polifenol oxidase, também atuando, em nível molecular, na sinalização da transcrição, na fosforilação oxidativa e na mobilização de ferro (Fe) (YRUELA, 2005; SILVA et al., 2011). Esse elemento também está envolvido no fornecimento de resistência estrutural às plantas através de lignificação (MOORE, 1998). Algumas plantas podem tolerar níveis elevados desse elemento podendo acumular concentração superior a 1000 mg kg⁻¹ de massa seca por meio de mecanismos bioquímicos (ACCIOLY & SIQUEIRA, 2000).

Absorvido na forma Cu⁺², sua redistribuição dentro das plantas ocorre tanto no xilema quanto no floema (BAKER, 1990). No entanto, quando em altas concentrações no solo, pode reduzir o crescimento das plantas por causar distúrbios na estrutura das proteínas e inibição do alongamento celular induzido pelo aumento na permeabilidade da membrana plasmática e lignificação da parede celular (YRUELA, 2009). Normalmente são observados sintomas de clorose na parte aérea (YRUELA, 2013), devido à substituição do íon Mg²⁺ na molécula de clorofila por Cu²⁺, resultando em menor eficiência fotoquímica (KÜPPER et al., 1996).

Esse elemento-traço, quando absorvidos em excesso, pode causar redução de biomassa, sintomas de clorose e afetar o desenvolvimento das raízes (YADAV et al., 2010). O Cu também pode ocasionar alterações no metabolismo do N, reduzindo a atividade de enzimas de assimilação desse nutriente, especialmente nas raízes, e os níveis de nitrogênio total, nitrato e aminoácidos livres (LORENS et al., 2000). Além de seu potencial tóxico, esse elemento químico também pode induzir deficiência de P e Fe e outros nutrientes da planta, o que é atribuído à interferência no mecanismo de absorção desses elementos, quando em competição com íons de Cu^{+2} (MANTOVANI, 2009).

Conforme Marques et al. (2011), o Brasil possui grande biodiversidade, favorecendo processos biológicos no tratamento das áreas contaminadas. Uma alternativa para descontaminação de áreas contaminadas com metais é o uso de espécies vegetais, através da técnica conhecida como fitorremediação (SILVA et al., 2015). A fitorremediação (fito = planta e remediação = corrigir) consiste no uso de plantas, associados ou não com microorganismos ou amenizantes de solo (corretivos, fertilizantes, matéria orgânica, etc), para descontaminação *in situ* de solos contaminados. Esta tecnologia emergente tem potencial para a remoção sendo eficaz, de baixo custo e aplicada em uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos (SANTOS & RODELLA, 2007; TAVARES, 2013).

As espécies arbóreas nativas respondem de maneira diferenciada em solos contaminados com cobre, mudas de *Enterolobium contortisiliquum* e *Peltophorum dubium* apresentam maior armazenamento do cobre nas raízes, com baixa translocação para a parte aérea, tendo sua massa seca da parte aérea incrementada com pequenas doses do metal, entretanto, a massa seca de *Parapiptadenia rigida* não é afetada na dose de 256 mg de Cu por kg^{-1} de solo (SILVA et al., 2011). Enquanto Caires et al. (2011) observaram em mudas de *Cedrela fissilis* que o aumento da concentração de cobre no solo promoveu maior crescimento das raízes em relação a parte aérea, bem como maior quantidade de cobre foi acumulada nas raízes, não o translocado para a parte aérea.

A timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell. Morong) é uma espécie arbórea nativa, pertencente à família Leguminosae, tendo capacidade de fixar nitrogênio atmosférico. Ocorre no estado do Mato Grosso e do Ceará até o Rio Grande do sul, sendo uma espécie pioneira nos campos da metade sul do Rio Grande do sul (GRINGS 2011).

A Pata de vaca (*Bauhinia forficata* Link) pertence à família Leguminosae com altura entre 5 a 9 metros, com tronco tortuoso e presença de acúleos. Ocorre no estado de Minas Gerais até o Rio Grande do Sul, essa espécie é utilizada para lenha, carvão vegetal e também na ornamentação (LORENZI, 2008).

A carne de vaca (*Pterogyne nitens* Tul) pertence família Leguminosae, produz madeira moderadamente pesada, muito utilizada para móveis finos, construção civil, fabricação de carrocerias. A espécie apresenta rápido desenvolvimento inicial a campo, sendo recomenda para plantios mistos, para recuperação de áreas degradadas e de preservação permanente (LORENZI, 2008). Entretanto, não se têm evidenciado trabalhos de pesquisa sobre o crescimento das espécies *Bauhinia forficata* e *Pterogyne nitens* em solo contaminado com cobre. Além disso, a facilidade de propagação, ampla distribuição geográfica e crescimento de rápido a moderado, justifica a importância de estudos com estas espécies.

2.3 CAMA DE AVIÁRIO E AMENIZANTES DE SOLOS CONTAMINADOS

Entre as técnicas para diminuir a disponibilidade dos metais pesados em solo contaminado, destaca-se a fitoestabilização, que consiste no uso de amenizantes e vegetação, visando estabilizar os metais e reduzir o efeito tóxico deste para a planta ao metal pesado (SANTOS et al., 2014). Existem vários produtos que foram testados como amenizantes da fitotoxidez de metais pesados em plantas de modo a aumentar seu potencial fitorremediador (KUMPIENE; LAGERKVIST; 2008). Dentre os amenizantes mais estudados se destacam o: calcário (CUNHA et al., 2008), silicatos (ACCIOLY; SOARES; SIQUEIRA, 2008), fosfatados (GALINDO et al., 2005) e compostos orgânicos (SIMÃO, 1999; SANTOS et al., 2014).

A matéria orgânica é um dos amenizantes mais utilizados, pois pode formar complexos insolúveis com metais pesados, tornando-os menos disponíveis às plantas, possibilitando o estabelecimento das mesmas em áreas cuja contaminação esteja muito elevada (SANTOS et al., 2010). Desse modo, a matéria orgânica é considerada um excelente mitigador de solos contaminados por metais pesados (SCHWAB et al., 2007).

Embora não se evidenciem estudos relacionados à cama de aviário como amenizantes de solo contaminado com cobre, a adição de cama aviária ao solo aumenta o teor de MO do solo. A redução significativa de íons metálicos no ambiente pode ocorrer mediante a utilização de matéria orgânica, estas substâncias são ricas em grupos funcionais com cargas negativas, tais como ácidos carboxílicos e hidroxilas fenólicas e alcoólicas, que são justamente os sítios, que podem adsorver os metais em solução (MORREIRA et al., 2012). Portanto, os complexos orgânicos exercem um papel importante na retenção do Cu nas suas estruturas e assim o tornando indisponível para as plantas (LOPES et al., 2006). A cama de aviário é muito abundante e destaca-se proveniente mente da criação intensiva de aves, denominados de cama de frango, ou apenas cama de aviário, que por serem ricos em nutrientes e estarem disponíveis

a um baixo custo, podem ser viabilizados pelos produtores na adubação das culturas agrícolas e composição de substratos (COSTA et al., 2009).

Conforme Bradl (2004) a sorção máxima de cobre no solo é diferenciada entre os constituintes e, a matéria orgânica, somente é superada pelos óxidos de Mn, sendo maior em relação aos óxidos de Fe e argilominerais. O uso de resíduos orgânicos provenientes da atividade animal como componentes para formulação de substratos tem se constituído como alternativa viável para preservação ambiental, sendo que quando esses materiais não são destinados adequadamente, os mesmos se caracterizam por causarem grandes impactos ao meio ambiente (SANTOS et al., 2010). A cama de aviário, muito abundante, em função da ampla expansão da produção de aves confinadas, é um resíduo orgânico que representa uma ótima fonte de nutrientes para as plantas, principalmente de nitrogênio, fósforo e potássio, proporcionando ainda, boas propriedades físicas para o substrato (LUZ et al., 2009). A adição de cama de aviário ao solo resulta em melhores condições para o desenvolvimento das plantas, esta fornece quantidades ponderáveis de macro e micro nutrientes além de promover efeito condicionador do solo e a relação C/N mais baixa, desta forma a liberação de nutrientes é mais rápida, beneficiando o desenvolvimento da planta (FILGUEIRA 2013).

A adição de cama de aviário pode incrementar os valores de pH do solo, em função da presença de ânions orgânicos solúveis ($R-COO^-$ e $R-O^-$) em resíduos orgânicos, que, ao serem liberados, podem adsorver H^+ da solução do solo, por meio de reação de troca, envolvendo, principalmente, íons Ca^{2+} (MANTOVANI et al. 2005). O Cu pode formar hidróxidos e precipitar a pH elevado, diminuindo a disponibilidade de Cu para as plantas. Sendo desta forma o pH um dos principais responsáveis pela biodisponibilidade do Cu no solo (RODRIGUEZ-RUBIO et al., 2003).

3 CAPÍTULO I

Artigo submetido e aceito para a publicação na Revista Ciência Florestal.

RESUMO

INTERFERÊNCIA DE DOSES DE COBRE NO CRESCIMENTO E NA QUALIDADE DE MUDAS DE *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul E *Enterolobium contortisiliquum* Vell.

AUTOR: Andre Luis Grolli

ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

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 aplicado 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 carne de vaca.

Palavras-chave: Metais; Fitorremediação; Espécies Arbóreas.

ABSTRACT**COPPER DOSES OF INTERFERENCE ON GROWTH AND SEEDLING QUALITY***Bauhinia forficata* Link , *Pterogyne nitens* Tul AND *Enterolobium contortisiliquum* Vell

AUTHOR: ANDRE LUIS GROLLI

ADVISOR: RODRIGO FERREIRA DA SILVA

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 in factorial arrangement (3 x 6), which include three forest species and six copper dosages in soil (0, 60, 120, 180, 240 end 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

3.1 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 (BAKER et al., 1994; NASCIMENTO et al., 2009). 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 estado 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 a resposta destas espécies em solos com elevadas concentrações de cobre.

A concentração de metais considerada tóxica para as plantas vem sendo sugerida, porém ainda é desconhecida para plantas arbóreas tropicais nativas. Resultados de pesquisa revelaram que *Enterolobium contortisiliquum* Vell. apresenta tendência de armazenamento de cobre nas raízes e demonstra ser mais tolerante que espécie *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.

3.2 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.

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 |

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 & 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 et al. (1960): $IQD = MST(g)/[AP(cm)/DC(mm)]+[MSA(g)/MSR(g)]$, onde 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 quadráticas foi calculado o ponto de máxima ou de mínima resposta à aplicação das doses de cobre.

3.4 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 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 encontrou resultados semelhantes em que esta espécie apresenta estímulo 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 (*Schinus therebinthifolius* Raddi). foi mais tolerante que o açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart. & Zucc.). Os resultados indicam que as arbóreas nativas respondem diferentemente as doses de cobre e apresentam diferente potencial para serem utilizadas em solo contaminado.

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) | | | MSA (g) | |
| 0 | 14,70 a ⁽¹⁾ | 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) | | | ASE (cm ²) | |
| 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 | | | H/D | |
| 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 ----- | |

⁽¹⁾ 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 ($p < 0,05$).

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 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 (KOPITTKKE & 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 et al. (2012) verificaram que *Sesbania virgata* acumula cobre nas raízes, apresentando baixo índice de translocação, que reduzem 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 absorva menos cobre em comparação a 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 ⁽¹⁾ (mg kg ⁻¹) | DI50 ⁽²⁾ (mg kg ⁻¹) | r ² |
|--------------------------------------|-------------------|---|--|--|----------------|
| <i>Bauhinia Forficata</i> | Altura | $y = -0,022254x + 14,510$ | - | 321 | 0,96 |
| | MAS | $y = -0,001391x + 0,578$ | - | 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 | $y = 0,000111x^2 - 0,055327x + 13,146$ | 249 | - | 0,89 |
| | MAS | $y = -0,001590x + 0,644$ | - | 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 | $y = -0,000098x^2 + 0,022247x + 12,671$ | 114 | - | 0,71 |
| | MAS | $y = -0,000014x^2 + 0,003403x + 0,930$ | 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: ⁽¹⁾ PMax ou PMin = obtido pelas equações de regressão de segundo grau. ⁽²⁾DI50 = dose de cobre que reduz em 50% a variável morfológica e a qualidade das mudas, com base na equação linear de regressão.

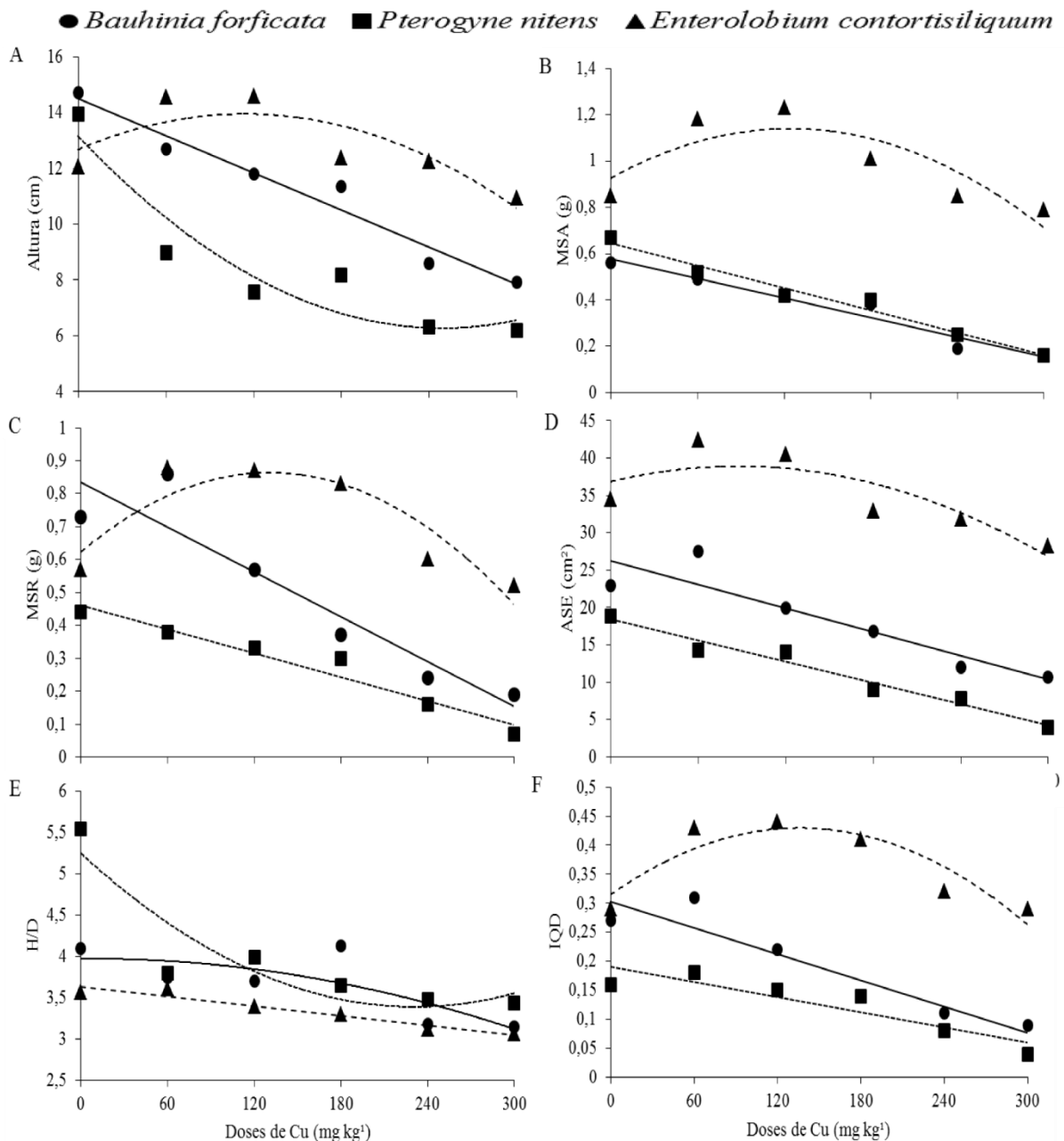


Figura 1—Altura (A), massa seca da parte aérea – MSA (B), massa seca da raiz-MSR (C), área superficial específica – ASE (D), relação altura/diâmetro - H/D (E), índice de qualidade de Dickson – IQD (F) das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* submetidas 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.

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 as 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, 2013), a timbaúva demonstrou 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 as 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), independente 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 às mudas de pata-de-vaca e carne-de-vaca em solo contaminado com cobre.

O índice 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 testadas neste trabalho, o cobre tenha ficado retida nas raízes, não sendo suficiente para afetar a cadeia transportadora de elétrons do fotossistema I, conforme relatados por Kabata-Pendias & Pendias (2001), Assim, as mudas de timbaúva não reduziram o seu crescimento caulinar nas doses iniciais de cobre, indicando ser uma espécie vegetal com tolerância a doses de cobre em relação a pata de vaca e carne de vaca.

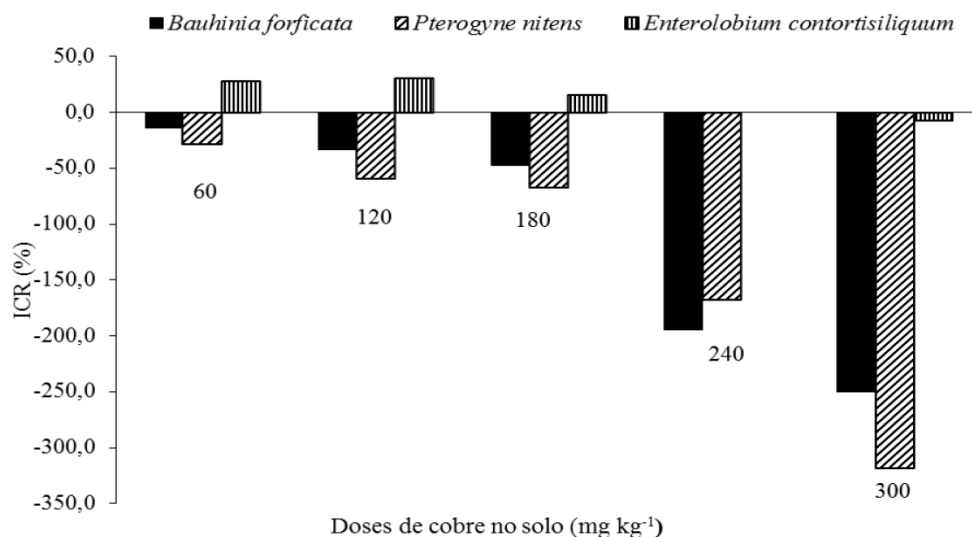


Figura 2 – Índice de crescimento relativo (ICR) da massa seca da parte aérea das mudas de *Bauhinia forficata* Link, *Pterogyne nitens* Tul e *Enterolobium contortisiliquum* Vell. com as doses de cobre aplicadas no solo. Frederico Westphalen, RS, 2013.

Figure 2 – 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.

3.5 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 carne de vaca.

3.4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, A. M. A.; SIQUEIRA, J. O. Contaminação química e biorremediação do solo. In: ANDREAZZA, R. et al. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, Oxford, UK, 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, UK, v.254, p.173-181, 2006.

BOMFIM, A. A.; JOSÉ, Abel Rebouças São; NOVAES, Adalberto Brito de ; GRISI, Fernanda Almeida . Avaliação morfológica de mudas de Madeira-Nova (*Pterogyne nitens* tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e de seu desempenho no campo. **Floresta** (UFPR. Impresso), Curitiba, Brasil, 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, 15 jul. 2012.

CRUZ, C. A. F. e; PAIVA, H. N. de; GOMES, K. C. de. GUERRERO, C. R. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 66, p. 100-107, 2004.

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-MG, 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 –WI, USA, 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.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Mattawa - ON, Canadá. v. 36, n. 1, p.10 – 13, mar., 1960.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro nacional de pesquisa de Solos (Rio de Janeiro) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa-SPI, Brasil. 412 p., 2006.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), Lavras, Brasil, 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 – SP, 427 p. 2005.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 2001. 315p.

KOPITTKE, P. M.; MENZIES, N. W. Effect of Cu toxicity on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). **Plant and Soil**, Dordrecht, Netherlands, v. 279, n. 01/02, p. 287-296, 2006.

LORENZI, HARRI. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil**. Vol 2. Nova Odessa, SP. Instituto Plantarum, 2008. 5 ed.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2011. 684p.

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. de A; BIONDI, C. M. Fitoextração de metais pesados em solos contaminados: avanços e perspectivas. **Tópicos em Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, SBCS. v. 6, p. 461-4495, 2009.

NOVAES, R. F.; ALVAREZ, V. H. V.; SCHAEFER, C. E. G. R. **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa: SBCS, 2000. p. 299-352.

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. Tolerância de mudas de canafístula (*Peltophorum dubium* (SPRENG.) TAUB.) inoculada com *Pisolithus microcarpus* a solo com excesso de cobre. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, 2010.

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. **Revista Ciência Florestal**, v. 21, p. 105-112, 2011a.

SILVA F. R. 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). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 111-118, jan.-mar., 2011b.

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.

TAIZ, L; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Artmed Editora. 5ª ed. 2012. 954 p.
TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**. Oxford, UK. v. 63, n. 3, p. 995-1001, nov., 1975.

4 CAPÍTULO II

RESUMO

CAMA DE AVIÁRIO COMO SUBSTRATO ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE TIMBAÚVA

AUTOR: Andre Luís Grolli
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

A produção de mudas de espécies arbóreas para fins de revegetação vem crescendo cada vez mais em nosso país. A timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) é uma espécie arbórea nativa pioneira e recomendada para reflorestamento de áreas degradadas. O trabalho objetivou determinar o efeito de proporções de cama de aves nos atributos químicos e morfológicos de crescimento de mudas de timbaúva. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no delineamento inteiramente casualizado, com 10 repetições, em arranjo fatorial (2 x 5) sendo substratos a base de turfa ou substrato comercial e cinco proporções de cama de aviário adicionada a estes substratos (0 (zero), 25, 50, 75 e 100%). Os substratos foram formulados através de mistura dos componentes na proporção de v/v. Os parâmetros avaliados foram: altura, diâmetro de colo, massa seca da parte aérea, massa seca da parte radicular, área superficial específica da raiz, índice de qualidade de Dickson e o índice de eficiência relativa da MST e Altura. Os resultados evidenciaram que a adição de cama de aviário no substrato comercial e a turfa possibilitam uma melhor qualidade de mudas de timbaúva. A adição de 36% de cama de aviário no substrato comercial proporcionou as melhores condições para o desenvolvimento das mudas quando comparada a adição de 33% de cama de aviário na turfa. A adição de cama de aviário ao substrato propicia as melhores condições para o desenvolvimento das mudas de timbaúva.

Palavras-chave: Timbaúva; Cama de Aviário; Qualidade de mudas.

ABSTRACT**CHICKEN LITTER AS AN ALTERNATIVE SUBSTRATE FOR THE PRODUCTION OF THE *Enterolobium contortisiliquum* Vell.**

AUTHOR: ANDRE LUIS GROLLI

ADVISOR: RODRIGO FERREIRA DA SILVA

The seedlings production of tree species for revegetation purposes is increasingly growing in our country. The *Enterolobium contortisiliquum* Vell. is a pioneer native species and it is recommended for reforestation of degraded areas. The study aimed to determine the effect of chicken litter proportions in chemical and physical attributes of growth of seedlings of the Pacara Earpod Tree. The experiment was conducted in a greenhouse, in a completely randomized design with 10 repetitions, in a factorial arrangement (2 x 5) and the substrates were peat-based or commercial substrate, five poultry litter proportions were added to these substrates (0 (zero) 25, 50, 75 and 100%). The substrates were formulated by mixing the components in the ratio v/v. The parameters evaluated were: height, stem diameter, shoot dry weight, dry weight of roots, specific surface area of the roots, Dickson quality index and the relative efficiency ratio of total dry mass and height. The results evidenced that the addition of manure in the commercial peat substrate allow a better quality of seedlings of Pacara Earpod Tree. The addition of 36% of poultry litter in commercial substrate provided the best conditions for the development of seedlings compared the addition of 33% of poultry litter in the peat-based substrate. The addition of manure to the substrate provides the best conditions for the development of seedlings Pacara Earpod Tree.

Keywords: Pacara Earpod Tree; Poultry litter; Seedlings quality.

4.1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a perda de cobertura vegetal é oriunda da exploração irracional dos recursos naturais, resultando em agravantes ambientais (OLIVEIRA et al., 2014). De acordo com Andrade et al. (2007) a devastação florestal vem sendo agravada por causa do avanço de áreas com monocultivo, pecuária, centros urbanos e, sobretudo, pela comercialização em larga escala de espécies de plantas de interesse econômico. Desse modo, trabalhos científicos que visem à multiplicação de espécies arbóreas nativas devem ser incentivados para geração de alternativas para produção de mudas e futura recomposição vegetal das áreas inadequadamente exploradas.

Neste sentido, a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) é uma espécie arbórea nativa pioneira, pertencente à família Leguminosae, de ocorrência no estado do Mato Grosso e do Ceará até o Rio Grande do sul (GRINGS & BRACK, 2011). Esta espécie é recomendada para reflorestamento de áreas degradadas, de preservação permanente e para plantios mistos, principalmente pelo seu rápido crescimento inicial (ARAUJO; SOBRINHO, 2011), esta espécie é indicada para o grupo de reflorestamento por apresentar características adequadas, como rápido crescimento em altura, capacidade de superar a mata competição, apresenta maior diâmetro de coleto, sugerindo a formação de um sistema radicular mais amplo, capaz de explorar os recursos do solo (MARCUSO et al., 2015).

Na produção de mudas, a escolha do substrato deve considerar a disponibilidade de materiais, bem como suas características físicas, químicas e custo. A disponibilidade de nutrientes no substrato também é um fator a ser levado em consideração, e havendo deficiência, estes devem ser disponibilizados às mudas (ULIANA et al., 2014). A utilização de resíduos orgânicos como componentes de substratos para a produção de mudas florestais é uma alternativa viável, porém é necessário que seja realizada a caracterização química dos resíduos para garantir a sobrevivência e o crescimento das mudas de espécies florestais (SANTOS et al., 2014).

A utilização de resíduos orgânicos, provenientes da atividade animal, como componentes para formulação de substratos tem se constituído uma alternativa viável para preservação ambiental, pois quando esses materiais não são destinados adequadamente, podem causar impactos ao meio ambiente (SANTOS et al., 2010). A cama de aviário é um resíduo orgânico abundante, por causa da expansão da produção de aves confinadas, que representa ótima fonte de nutrientes para as plantas, principalmente de nitrogênio, fósforo e potássio, proporcionando ainda, boas propriedades físicas para o substrato (LUZ et al., 2009). Trazzi et al. (2014), trabalhando com substratos orgânicos, observam que a adição de 35% de cama de

aves no substrato apresentou a maior teor de nutrientes nas mudas de *Tectona grandis*. Dessa forma, é possível que a cama de aves, ou a adição de proporções deste resíduo na formulação substratos possibilitem crescimento e nutrição adequada para as mudas de timbaúva.

Desse modo, este trabalho objetivou determinar o efeito de proporções de cama de aves nos atributos químicos do solo e morfológicos de crescimento de mudas de timbaúva.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante 120 dias em casa de vegetação climatizada (temperatura de 28 C, umidade de 60% e foto período de 12h), pertencente ao Colégio Agrícola de Frederico Westphalen, RS, sendo realizadas irrigações diárias, baseadas na pesagem das unidades experimentais, mantendo-se a umidade dos substratos a aproximadamente 80% da capacidade de campo. A cama de aviário é a base de serragem e utilizou-se 8 lotes de frangos de corte.

Os substratos utilizados no experimento foram confeccionados a partir da turfa (T), substrato comercial Maxfertil (SC) e a Cama de Aviário (CA), utilizados isoladamente, ou em proporções (v:v) crescentes de cama de aviário em relação aos demais substratos. Para a determinação dos teores de cobre e zinco nos substratos foi realizada por digestão úmida com $\text{HNO}_3 + \text{HClO}_4$ (3:1) e determinação em espectrofotometria de absorção atômica (MIYAZAWA et al., 2009), para o carbono orgânico (CO) utilizou-se a metodologia de Carbono Orgânico, segundo Yeomans e Bremner (1988) e de Tedesco et al., (1995) para os demais elementos (Tabela 4). As análises foram realizadas nos laboratórios de química do solo da Universidade Federal de Santa Maria, Campus de Frederico Westphalen (Tabela 4).

As unidades experimentais foram compostas por sacos plásticos de polietileno com capacidade volumétrica de 600 cm³. Para a superação da dormência tegumentar, as sementes foram submetidas a escarificação mecânica com a quebra do tegumento através de tesoura de poda. A semeadura foi realizada nos recipiente plásticos, sendo adicionada 3 sementes por unidade experimental e posterior raleio quando as mudas apresentavam um par de folhas definitivas.

Tabela 4 - Análise química dos substratos utilizados para o desenvolvimento das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. Frederico Westphalen, RS, 2016.

| Substratos | pH- água | Ca | Mg | N | P | K | Cu | Zn | CO |
|------------------|-------------|------------------------|------|-------|--------------------|-------|---------------------|-------|----------------------|
| | 1:1 | cmolc kg ⁻¹ | | | g kg ⁻¹ | | mg kg ⁻¹ | | dag kg ⁻¹ |
| 25CA:75SC | 6,9 | 11,2 | 9,33 | 12,75 | 6,02 | 15,93 | 44,0 | 219,2 | 28,4 |
| 50CA:50SC | 7,3 | 10,7 | 11,9 | 16,49 | 7,55 | 23,34 | 79,6 | 328,0 | 26,3 |
| 75CA:25SC | 7,5 | 12,2 | 12,3 | 22,78 | 9,56 | 29,93 | 105,6 | 491,0 | 25,4 |
| 25CA:75T | 6,6 | 26,2 | 12,3 | 18,72 | 5,45 | 18,81 | 41,36 | 187,7 | 30,6 |
| 50CA:50T | 7,1 | 18,6 | 13,0 | 20,37 | 7,83 | 18,71 | 63,9 | 278,7 | 28,0 |
| 75CA:25T | 7,4 | 15,0 | 12,3 | 23,41 | 11,60 | 29,48 | 103,3 | 474,2 | 27,6 |
| CA 100% | 7,8 | 15,0 | 10,4 | 26,86 | 14,54 | 34,60 | 119,7 | 579,4 | 27,8 |
| SC 100% | 6,1 | 13,0 | 6,5 | 5,61 | 1,67 | 6,31 | 17,7 | 46,3 | 25,4 |
| T 100% | 5,6 | 46,0 | 24,0 | 13,94 | 0,57 | 1,37 | 5,2 | 15,7 | 34,2 |

Delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 5) sendo substratos a base de turfa ou substrato comercial e cinco proporções de cama de aviário adicionada a estes substratos (0 (zero), 25, 50, 75 e 100%), com dez repetições. Os substratos foram formulados através de mistura dos componentes na proporção de v/v.

Ao final do experimento foi avaliada a altura da parte aérea (AP), medida com régua graduada do colo da planta até o ápice caulinar; diâmetro do colo (DC), medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm; e após a separação da parte aérea e radicular na região do coleto da planta, ambos foram secos em estufa a 60 ±1°C até massa constante, em seguida pesadas em balança analítica, caracterizando a massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da parte radicular (MSPR). Conforme metodologia de Tennant (1975) estimou-se área superficial específica (ASE) das raízes e de acordo com Dickson (1960) determinou-se o índice

de qualidade de Dickson, conforme a equação $IQD = MST(g)/[AP(cm)/DC(mm)]+[MSPA(g)/MSPR(g)]$.

Calculou-se, também, o Índice de eficiência relativa (IER%) dos tratamentos propostos (TP) em relação ao tratamento 100% substrato comercial (SC), para altura e massa seca total das mudas, de acordo com a fórmula: $IER (\%) = 100 * (TP - SC)/SC$.

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 pela análise 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 equações quadráticas foi calculado o ponto de máxima ou de mínima resposta à aplicação das proporções de cama de aviário.

4.3 RESULTADOS DE DISCUSSÕES

Os resultados evidenciaram interação significativa entre os fatores de variação substratos (turfa e comercial) e proporções de CA para todas as variáveis de produção de mudas estudadas, sendo que o SC apresentou maior altura, matéria seca da parte aérea e radicular, área superficial específica e índice de qualidade de Dickson em relação à turfa, (Figura 3). No tratamento com 100% de CA ocorreu a morte de todas as mudas o que pode ter afetado o percentual de plantas nascidas é que na medida em que se aumenta quantidade de cama de frango, tem-se um aumento na quantidade de bactérias que fazem o processo de decomposição da cama de frango no substrato diminuindo a quantidade de oxigênio, o qual é fundamenta para germinação das sementes (TORRES et al, 2011) e também pode estar relacionada a salinidade que reduz o potencial de água no substrato (BRUGNARA, 2014).

Obteve-se a maior altura das mudas na dose de 35% de CA no substrato comercial, e a de CA na turfa foi de 28%, enquanto para o diâmetro de colo a apresentou melhor desenvolvimento com a utilização de 30% de cama de aviário no substrato comercial e 32% de CA na T (Figura 3A, 3B). Resultados de Pereira et al., (2010a) evidenciaram que a cama de aviário também proporcionou maior crescimento em altura e em diâmetro de caule das mudas de tamarindeiro e este crescimento pode estar relacionado às condições físicas e biológicas que a adição de um material orgânico proporciona ao substrato, atingindo, respectivamente, o crescimento máximo com 37% e 46,15% na composição com substrato, desta forma podemos observar que a cama de aviário contribui para o desenvolvimento das mudas de timbaúva.

A maior produção da massa seca da parte aérea foi observada nas proporções de 39% de CA adicionado ao SC e 36% de CA em mistura com a turfa, (Figura 3C). Trazzi et al. (2013) encontrou a maior média de massa seca da parte aérea nas mudas de *Tectona grandis* Linn no tratamento composto por 25% de substrato comercial, 40% de terra de subsolo e 35% de cama de frango. A adição de CA no substrato para a produção de mudas proporciona um bom desenvolvimento desta, sendo que este resultado pode estar relacionado a quantidade de nutrientes e a retenção de água que a cama de frango proporciona ao solo.

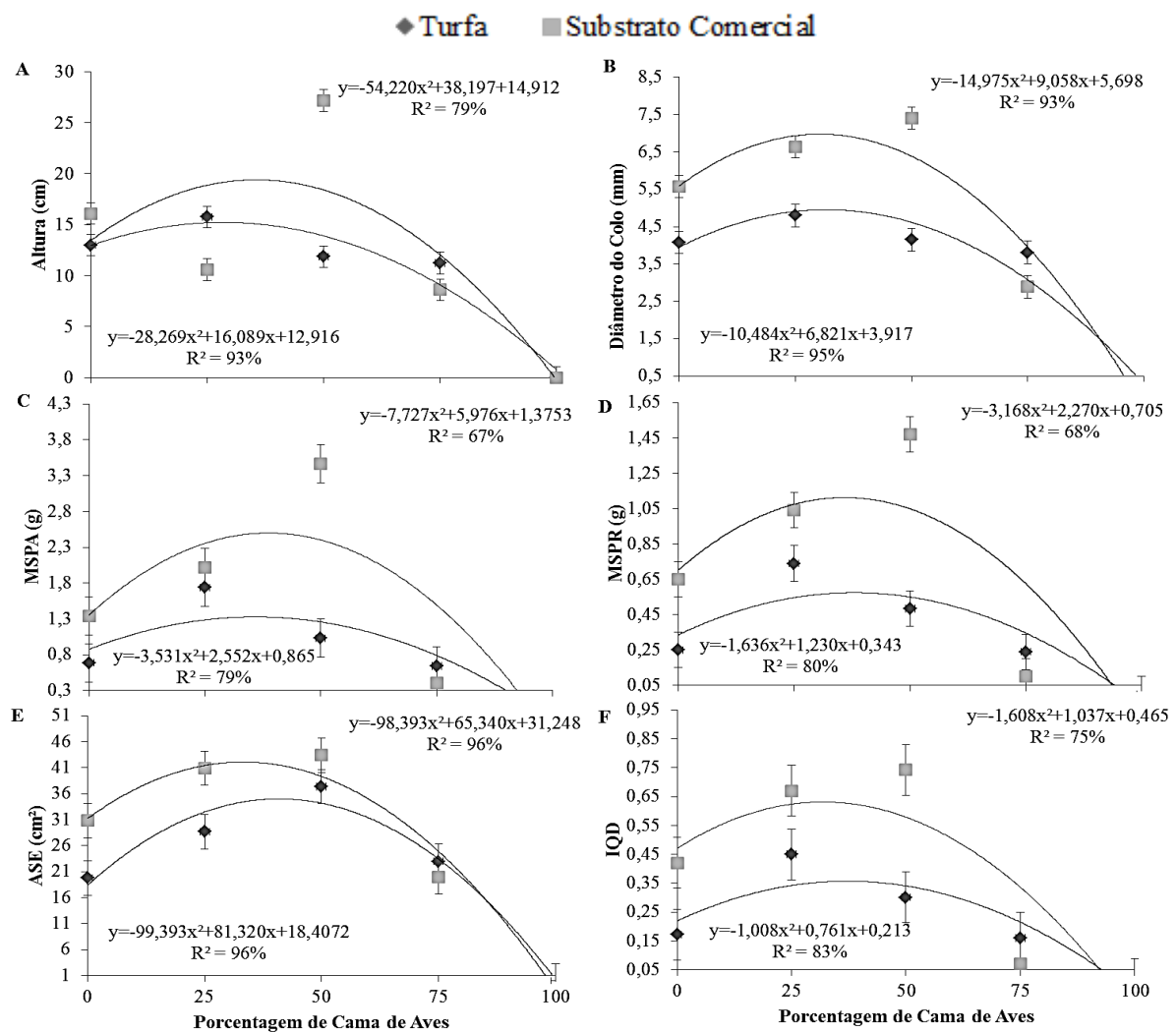


Figura 3 – Equações de regressão para a altura (A), diâmetro do colo – DC (B), massa seca da parte aérea – MSPA (C), massa seca da parte radicular – MSPR (D), área superficial específica - ASE (E) e índice de qualidade de Dickson – IQD (F) em mudas de timbaúva em diferentes proporções de cama de aviário em relação ao substrato comercial e a turfa, Frederico Westphalen, RS, 2016.

A produção de MSPR mais elevada foi na dose de 36% de CA adicionada ao SC e de 37% de CA adicionada na turfa (Figura 3D). A cama de aviário, desde que utilizada em quantidades adequadas, pode ser uma fonte de nutrientes, tanto para a produção de mudas,

quanto na adubação em geral (TORRES et al., 2011). Costa et al. (2008), trabalhando com adubação orgânica e mineral observaram que o esterco avícola foi o que produziu melhores resultados na produção de biomassa seca do sistema radicular e rendimento de óleo essencial das plantas de *Cymbopogon citratus*. Portanto a cama de aviário, sendo utilizada em quantidades adequadas na composição do substrato pode ser uma fonte de nutrientes interessante para a produção de mudas de timbaúva.

Para a área superficial específica (ASE) o melhor desenvolvimento foi com 41 e 33% de mistura de cama de aviário no substrato comercial e turfa, respectivamente (Figura 3E). Macedo et al. (2011) citam a maior disponibilidade de nutrientes como fator responsável pelos maior desenvolvimento radicular de *Tabebuia roseoalba* nos substratos solo+cama de frango semidecomposta e solo+areia+cama de frango semidecomposta. Desse modo, pode-se observa que com o aumento da 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 substrato com adição de 25 a 50% de CA em comparação aos demais substratos testados neste trabalho. Nesse caso, o maior desenvolvimento do sistema radicular em substrato é desejável, pois possibilita maior absorção de água e nutrientes.

O índice de qualidade de mudas (IQD) apresentou maior qualidade das mudas com a utilização de 38 e 32% de cama de aviário no substrato comercial e turfa, respectivamente, sendo que a adição de 25% e 50% de cama de aviário ao substrato comercial proporcionou IQD significativamente maior em relação aos compostos constituídos de CA e turfa (Figura 3F). O IQD é um bom indicador de qualidade de mudas, pois em seu cálculo são considerados a robustez e o equilíbrio da distribuição de biomassa entre parte aérea e radicular, sendo que, quanto maior for o IQD, melhor será o padrão de qualidade da muda (VIDAL et al., 2006). Esses valores podem estar relacionados aos teores encontrados de N, P e K (Tabela 5) na cama de aviário fazendo com que o substrato proporcione condições melhores de desenvolvimento.

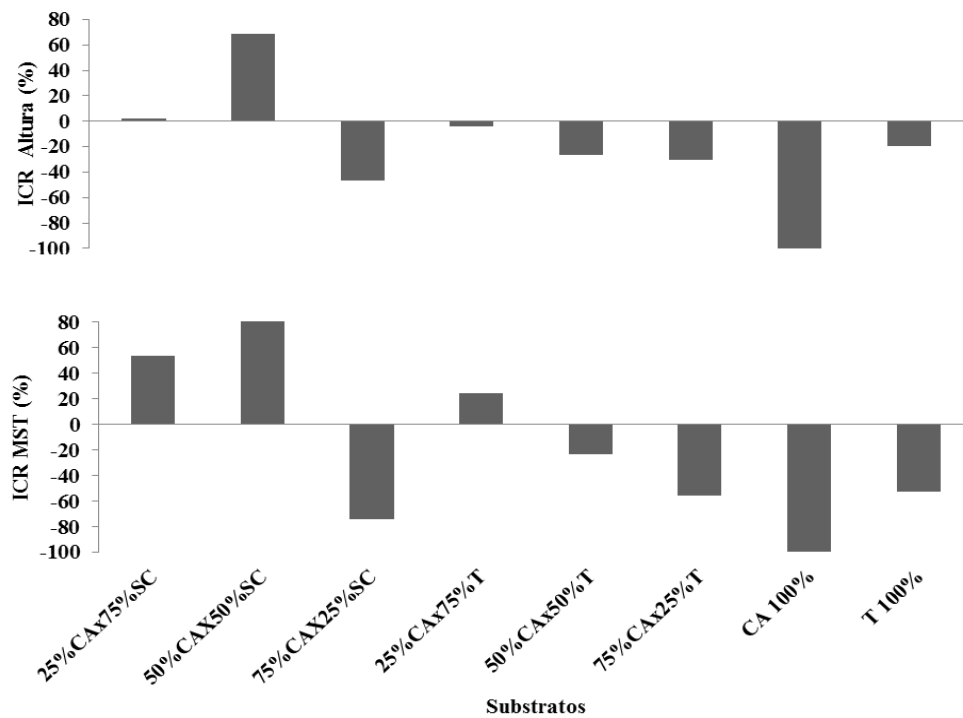


Figura 4 – Índice de eficiência relativa IER da altura e IER MST (massa seca total) das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* em diferentes proporções de cama de aviário em relação ao substrato comercial e a turfa, Frederico Westphalen, RS, 2016.

Os tratamentos contendo 50CAx50SC apresentaram maior índice de eficiência relativa para altura e MST das mudas de timbaúva quando comparadas aos demais tratamentos (Figura 4). A cama de frango na proporção de 60% do substrato propiciou resultados menos expressivos na maioria das características avaliadas (SILVA et al., 2012). A medida que aumentou-se as concentrações de cama de frango no substrato, obteve-se decréscimo nos incrementos de biomassa das mudas de pinhão manso devido provavelmente ao excesso de matéria orgânica, o dificultou a drenagem, aeração do substrato e não favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular. (TORRES et al., 2011). Esses resultados indicam que a timbuava responde positivamente a adição de CA no SC, embora em doses elevadas a planta não apresente desenvolvimento satisfatório.

De modo geral, os resultados evidenciaram que em média, a adição de 36% cama de aviário ao substrato comercial e de 33% à turfa possibilitou aumento na altura, diâmetro, massa seca da parte aérea e radicular e na ASE radicular. Esses resultados demonstram um potencial nutritivo da cama de aviário e a possibilidade de utilização deste resíduo orgânico na proporção de substratos para o crescimento das mudas de timbaúva. Entretanto, a proporção deve ser definida conforme os demais ingredientes do substrato pela possibilidade de um efeito tóxico da cama de aves utilizada.

4.4 CONCLUSÃO

A adição de aproximadamente 36% de cama de aviário ao substrato comercial e de 33% à turfa possibilita aumento nos parâmetros fenológicos de mudas de timbaúva.

4.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A.; PAIVA SOBRINHO, S. Germinação e produção de mudas de tamboril (*E. contortisiliquum* (Vell.) Morong) em diferentes Substratos. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.581-588,2011.

ANDRADE, L. A. et al.; Viveirismo para agricultores familiares: Uma iniciativa capaz de gerar trabalho e renda, além de promover a inclusão social. **Extensão Cidadã**, João Pessoa, v.3, n.1, p.1-7, nov. 2007.

BRUGNARA, E. C.; Cama de aviário em substratos para mudas de maracujazeiro-amarelo. **Rev. Bras. de Agroecologia**. 9(3): 21-30 2014.

COSTA, L.C.B.; ROSAL, L.F.; PINTO, J.E.B.P.; BERTOLUCCI, S.K.V. Efeito da adubação química e orgânica na produção de biomassa e óleo essencial em capim-limão (DC.) Stapf. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v.10, n.1, p.16-20, 2008.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Mattawa - ON, Canadá. v. 36, n. 1, p.10 – 13, mar., 1960.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFPA), Lavras, Brasil, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GONÇALVES JLM, POGGIANI F. Substrato para produção de mudas florestais. In: **Resumos do Congresso Latino Americano de Ciência do Solo**; 1996; Águas de Lindóia. Piracicaba: Sociedade Latino Americano de Ciência do Solo; 1996.

GRINGS, MARTIN; BRACK, PAULO. Capítulo 5 - Espécies Madeireiras. In: Lídio Coradin; Alexandre Siminski; Ademir Reis. (Org.). Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial - **Plantas para o Futuro** - Região Sul. 1ed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, v. 1, p. 13-934.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, MG: Ed. da UFV, 2012.

LUZ, J. M. Q.; MORAIS, T. PS.; BLANK, A. F.; SODRÉ, A. C. B.; OLIVEIRA, G. S. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço sob doses de cama de frango. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 349 – 353, 2009.

MACEDO, M. C. et al. Produção de mudas de Ipê Branco em diferentes substratos. **Cerne, Lavras**, v. 17, n. 1, p. 95-102, jan./mar. 2011.

MARCUZZO, S. B.; ARAUJO, M. M. ; GASPARIN, E. Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Floresta (UFPR. Impresso)**, v. 45, p. 129-140, 2015.

MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MURAOKA, T.; CARMO, C. A. F. S.; MELO, W. J. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Cap. 2, p.59-85.

OLIVEIRA L. S.B.; ANDRADE L. A.; ALVES A DE S.; GONÇALVES G. S. Substrato e Volume de Recipiente na Produção de Mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Nativa, Sinop, v. 02, n. 02, p. 103-107, abr./jun. 2014.

PEREIRA, P.C.; MELO, B. de.; FREITAS, R.S. de.; TOMAZ, M.A.; FREITAS, C. de J. P. Mudas de tamarindeiro produzidas em diferentes níveis de matéria orgânica adicionada ao substrato. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.3, p. 152 -159, 2010a.

PEREIRA, P.C.; MELO, B. de.; FREITAS, R.S. de.; TOMAZ, M.A.; TEIXEIRA, I.R. Tamanho de recipientes e tipos de substrato na qualidade de mudas de tamarindeiro. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v.5, n.3, p. 136-142, 2010b.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. V. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.9, p.971–979, 2014.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I.T.; OLIEIRA, M. E. C. Produção da cultura da mamoneira em função da fertilização com cama de galinha. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 169-180, 2010.

SBCS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. Núcleo Regional Sul. 10 ed. 400p. Porto Alegre, 2004.

SILVA, C. J. da ; SILVA, C. A. da ; MELO, B. de ; FREITAS, C. A. de . Produção de mudas de cafeeiro com adição de material orgânico em substrato comercial. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, p. 137-148, 2012.

TEDESCO, M. J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

TORRES G. T.; VENDRUSCOLO M. C.; SANTI A.; SOARES V. M.; PEREIRA P. S. X. Desenvolvimento de Mudas de Pinhão Manso sob Diferentes Doses de Cama de Frango no

Substrato. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p. 244 - 250 outubro/dezembro de 2011.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; PASSOS, R. R.; GONÇALVES, E. DE O. Substratos de Origem Orgânica para Produção de Mudas de Teca (*Tectona grandis* Linn. F.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 401-409, jul.-set., 2013

TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de Teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.2, n.1, p.19-31, jan./abr., 2014

ULIANA M. B.; FEY R.; MALAVASI M. M.; MALAVASI U. C. Produção de Mudas de *Anadenanthera Macrocarpa* em Função de Substratos Alternativos e da Frequência de Fertirrigação. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 44, n. 2, p. 303 - 312, abr. / jun. 2014.

VIDAL, L. H. I. et al. Qualidade de mudas de guaco produzidas por estaquia em casca de arroz carbonizada com vermicomposto. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 24, n. 1, p. 26-30, jan./mar. 2006.

YEOMANS, J. C.; BREMNER, J. M. A rapid and precise method for routine determination of carbono in soil. Commun. In Soil Sci. **Plant Anal.**, 19: 1467-1476, 1988.

5 CAPÍTULO III

RESUMO

ADIÇÃO DE CAMA DE AVIÁRIO AO SUBSTRATO COMERCIAL E *Enterolobium contortisiliquum* VELL PARA FITORREMEDIAÇÃO DE SOLO CONTAMINADO COM COBRE

AUTOR: Andre Luis Grolli
ORIENTADOR: Rodrigo Ferreira da Silva

O cobre quando presente em altas concentrações no solo pode causar redução no crescimento de plantas. Uma das estratégias para correção destas áreas contaminadas por metais é a fitorremediação associada à utilização de amenizantes, que consiste na introdução de espécies vegetais e materiais orgânicos, ou inorgânicos ao solo contaminado. O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de cama de aviário como amenizante para o desenvolvimento da timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) em solo contaminado com cobre (Cu). O experimento foi conduzido em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 6), sendo dois substratos adicionados ao solo contaminado com cobre: cama de aves (CA) e cama de aves + substrato comercial (CA+SC) e seis proporções (v:v) destes substratos em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo (0 (zero), 10, 20, 30, 40 e 50%), após 30 dias foi realizada a semeadura com dez repetições. Foram avaliados os parâmetros: altura, diâmetro de colo, massa seca parte aérea, massa seca radicular, área superficial específica, índice de qualidade de Dickson clorofila total, carotenoides, taxa de transporte de elétrons na mais alta radiação (ETR1500), rendimento quântico máximo PSII rendimento (Fv/Fm) teor de Cu na parte aérea e radicular. Os resultados evidenciaram que as mudas de *Enterolobium contortisiliquum* Vell. apresentaram melhor desenvolvimento com a adição de CA+SC em solo contaminado. Os parâmetros morfológicos, foram estimulados com a adição de CA + SC, obtendo os melhores resultados com a dição de 20 a 30% do composto CA+SC em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo e os teores de carotenoides diminuíram nessas doses, podendo estar relacionada ao menor estresse fisiológico causado pelo cobre no solo.

Palavras-chave: Timbaúva; Cama de Aviário; Amenizantes.

ABSTRACT**ADDITION OF CHICKEN LITTER TO COMMERCIAL SUBSTRATE AND *Enterolobium contortisiliquum* VELL. FOR PHYTOREMEDIATION OF SOIL CONTAMINATED WITH CUPPER.**

AUTHOR: ANDRE LUIS GROLI

ADVISOR: RODRIGO FERREIRA DA SILVA

Copper in high concentration in soil cause reduction of plant growth. One of the strategies for rehabilitation contaminated areas with heavy metals is the phytoremediation with the use of amendments, organic or inorganic to attenuation of the contaminated soil. The objective of this study was enable the using of broiler litter (CA) and *Enterolobium contortisiliquum* to phytoremediation the soil contaminated with copper. The experiment was conducted in a greenhouse, in randomized complete design in a factorial arrangement (2X6): two substrates added on contaminated soil: CA and mix (v/v) of CA with commercial substrate (SC) on six proportions on contaminated soil with 400 mg of Cu kg⁻¹ of soil: 0; 10; 20; 30; 40 e 50%, with ten replicates. Were evaluated height, stem diameter, shoots and roots dry matter, specific surface area, Dickson quality index, total chlorophyll, carotenoids, electron transport rate on 1500 PAR, maximum PSII yield (Fv/Fm), copper concentration on shoots and roots. The results showed that the *E. contortisiliquum* seedlings had higher development with the addition of CA+SC in the contaminated soil. The morphological parameters were stimulated by the addition of 20% and 30% of the mix (CA+SC). The carotenoids content decrease in the same proportions, and it could be related to lower physiological stress caused by copper in the soil.

Keywords: *E. contortisiliquum*. Broiler litter. Contamination attenuation

5.1 INTRODUÇÃO

O Cu é a um micronutriente essencial ao desenvolvimento de plantas, mas pode causar redução no crescimento quando presente em altas concentrações no solo (MARSCHNER, 2011). No Brasil, principalmente no Rio Grande do Sul, áreas com excesso de cobre tem se tornado comum em vinhedos, decorrentes da aplicação de fungicidas a base de cobre (MIOTTO et al., 2014), bem como em áreas de mineração desse elemento químico (REGENSBURGER et al., 2008). Desta forma, alternativas devem ser estudadas para reduzir a contaminação de Cu nestas áreas e a fitorremediação é a tecnologia que faz uso de plantas para descontaminação *in situ* de solos contaminados, com potencial para a remoção eficaz, de baixo custo e aplicado a uma larga escala de poluentes orgânicos e inorgânicos (TAVARES, 2013).

A cama de aviário é um resíduo orgânico abundante, este se caracteriza como uma combinação de substratos essencialmente agrícolas com excretas, penas, ração, água das aves e a base da cama dependem da disponibilidade do material da região, podendo ser constituída de casca de arroz, maravalha e serragem. Em função da expansão da produção de aves confinadas a CA representa ótima fonte de nutrientes para as plantas, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio, proporcionando ainda, propriedades físicas para o substrato que auxiliam no desenvolvimento das plantas (LUZ et al., 2009). O uso de resíduos orgânicos reduz a biodisponibilidade de metais por meio de adsorção e reações de complexação, diminuindo a sua transferência para absorção pelas plantas e a lixiviação (PARK et al., 2011). Desse modo, a CA podem desempenhar importante papel na biodisponibilidade de metais em solos e contribuir para a amenização da toxidez do cobre para as plantas.

Planta cultivada em solos com alta concentração de Cu resulta em aumento da concentração de metais pesados nos seus tecidos e produção de oxigênio reativo (ROS) em células vegetais (BRIAT & LEBRUN 1999). O excesso de Cu pode também inibir a fotossíntese e produção de clorofila a e b (CAMBROLLÉ et al., 2013; BAGLYAS & PÓLOS de 2014). Este dano resulta em menor desenvolvimento da planta, desta forma dificultando o estabelecimento de espécies nativas nessas áreas.

Neste sentido, a timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) é uma espécie arbórea nativa pioneira, pertencente à família Leguminosae, de ocorrência no estado do Mato Grosso e do Ceará até o Rio Grande do sul (GRINGS & BRACK, 2011). Esta espécie apresenta certa tolerância a solo contaminado com cobre quando comparada a angico e canafístula (SILVA et al., 2011a) e é indicada para o reflorestamento por apresentar características, como rápido crescimento em altura, capacidade de superar a mato competição, apresenta maior diâmetro de

coleteo, sugerindo a formação de um sistema radicular mais amplo, capaz de explorar os recursos do solo (MARCUIZZO et al., 2015). Diante do exposto e da possibilidade em utilizar a timbaúva em solos contaminados com cobre, uma dúvida ainda persiste no que se refere à utilização da CA como amenizante da contaminação com cobre no solo permitindo maior desenvolvimento de mudas de timbaúva.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o uso de cama de aviário como amenizante para o desenvolvimento da timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* Vell.) em solo contaminado com cobre.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação pertencente ao Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil, sendo realizadas irrigações diárias, baseadas na pesagem das unidades experimentais, mantendo-se a umidade dos substratos a aproximadamente 80% da capacidade de campo.

O solo utilizado no experimento foi caracterizado como um Latossolo Vermelho, cuja análise química está descrita na Tabela 6. Antecedendo 30 dias da instalação do experimento, o solo foi contaminado com 400 mg cobre Kg^{-1} de solo, por meio de solução de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$). Decorridos 15 dias foram adicionados os tratamentos de substratos amenizantes. Foram utilizados dois substratos amenizantes no trabalho, um confeccionado com 50% de Cama de aviário mais 50% de Substrato comercial Maxfertil® (CA+SC) na proporção de v/v e outro constituído somente de Cama de Aviário (CA) compostada, sendo esta formada por serragem e utilizada para a criação de oito lotes de frangos de corte cuja análise química está na Tabela 6.

Tabela 5 - Análise química do solo, cama de aviário(CA) e substrato comercial (SC) utilizado para o desenvolvimento das mudas de *Enterolobium contortisiliquum*. Frederico Westphalen, RS, 2016.

| Substratos | pH- água | Ca | Mg | N | P | K | Cu | Zn | MO |
|-------------|-------------|------------------------|------|-------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|-------|
| | 1:1 | cmolc kg ⁻¹ | | -----g kg ⁻¹ ----- | | | ----- mg kg ⁻¹ ---- | | % |
| Solo | 5,5 | 5,2 | 3,1 | - | 0,27 | 15,93 | 13,0 | 1,8 | 2,5 |
| CA | 7,8 | 15,0 | 10,4 | 26,86 | 14,54 | 34,60 | 119,7 | 579,4 | 48,36 |
| SC | 6,1 | 13,0 | 6,5 | 5,61 | 1,67 | 6,31 | 17,7 | 46,3 | 44,1 |

As unidades experimentais foram compostas por sacos plásticos de polietileno com capacidade volumétrica de 600 cm³, contendo em seu interior aproximadamente 800 g de solo. A espécie utilizada neste trabalho foi a timbaúva, cujas sementes foram submetidas a superação da dormência tegumentar por meio da escarificação mecânica com a quebra do tegumento com tesoura de poda. A semeadura foi realizada nos recipiente plásticos, sendo adicionada 3 sementes por unidade experimental e posterior raleio, tendo-se como base o vigor e sanidade da muda, quando apresentavam um par de folhas definitivas.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em arranjo fatorial (2 x 6), sendo dois substratos adicionados ao solo contaminado com cobre: cama de aves (CA) e cama de aves + substrato comercial na proporção de 50% de cada (CA+SC), com seis proporções (v:v) destes substratos em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo(0 (zero), 10, 20, 30, 40 e 50%), com dez repetições.

Após 120 dias foi avaliada a altura da parte aérea (AP), medida com régua graduada do colo da planta até o ápice caulinar; diâmetro do colo (DC), medido com paquímetro digital, com precisão de 0,01 mm; e após a separação da parte aérea e radicular na região do coleto da planta, ambos foram secos em estufa a 60 ±1°C até massa constante, em seguida pesadas em balança analítica, caracterizando a massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da parte radicular (MSPR) e estimou-se a área superficial específica das raízes (ASE), conforme Tennant (1975).

Com base nas variáveis morfológicas foi avaliada a qualidade das mudas por meio índice de qualidade de Dickson (IQD), usando a fórmula proposta por Dickson et al. (1960): $IQD = MST(g)/[AP(cm)/DC(mm)]+[MSPA(g)/MSPR(g)]$, onde MST é a soma da MSPA e MSPR.

Após a pesagem da massa seca da raiz e parte aérea, o material foi moído em moinho tipo Wiley (peneira de malha de 10 mesh) para a determinação dos teores de cobre nos tecidos

vegetais, através de digestão nítrico-perclórica (3:1) e determinação em espectrofotometria de absorção atômica, conforme Miyazawa et al. (2009).

Os parâmetros de fluorescência da clorofila foram medidos na quarta folha totalmente expandida após 120 dias de emergência das plantas, usando um fluorímetro modulado (Junior-Pam, Walz, Alemanha), no período ante-manha 04h00 - 06h30 (escuro). A fluorescência inicial (F_o) foi medida, antes das folhas receberem um pulso de luz saturante ($10000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e após o pulso foi medida a fluorescência máxima (F_m). A fluorescência variável (F_v), é o incremento fluorescência a partir de F_o até F_m . A eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) foi calculada como a razão da fluorescência variável sobre a máxima ($F_m - F_o$) (LICHTENTHALER, 1987). A taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}) foi medida através de curvas de luz (taxa de transporte de elétrons contra radiação fotossinteticamente ativa [PAR]). Curvas de luz foram medidas submetendo cada amostra a nove níveis de radiação (0, 125, 190, 285, 420, 625, 820, 1150 e $1500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) durante 10 s.

Clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e carotenóides foram determinados usando a 4ª folha expandida do ápice para a base. Amostras de folhas foram recolhidas e imediatamente colocadas em freezer, sob temperatura de -4°C até o momento da análise. As folhas foram trituradas e homogeneizadas em 5 ml de acetona 80% (v/v), colocados em tubos de 15 mL, e centrifugada a 400 g durante 4 minutos. As absorbâncias do sobrenadante a 480, 663, 645 nm foram medidos utilizando um espectrofotômetro. As concentrações de pigmentos foram calculados de acordo com Hendry e Priçe (1993).

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 pela análise 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 equações quadráticas foi calculado o ponto de máxima ou de mínima resposta à aplicação das proporções dos substratos.

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados evidenciaram interação significativa entre os fatores de variação de (substratos e proporções) adicionadas em solo contaminado com 400 mg kg^{-1} . As plantas cultivadas na mistura de cama de aviário + substrato comercial proporcionou as plantas maior altura, matéria seca da parte aérea e radicular e área superficial específica em relação à semente

utilização de cama de aviário (Figura 5), sendo que a adição de 20% de CA+SC ao solo contaminado proporcionou resultado significativamente superior às demais.

A altura de plantas apresentou o ponto de máxima altura com 18% de CA+SC (Figura 5A). O Cu possui elevada afinidade por ligantes orgânicos, Joris et al. (2012) observaram correlação negativa entre teores de Cu e carbono orgânico extraídos com água quente, indicando que o Cu pode se complexar com os ácidos orgânicos em solução e conseqüentemente reduzir a adsorção na fração sólida. Conforme Kabata-Pendias (2011) a solubilidade de Cu é reduzida com a adição de matéria orgânica, desta forma as mudas de timbaúva apresentaram maior desenvolvimento com a adição de CA+SC.

A maior produção de MSPA e MSPR foi observada com adição de 29 e 21% de CA+SC e com 47 e 25% para CA, respectivamente (Figura 5BD). González et al. (2014) observaram maior produção de matéria seca ao utilizar um composto orgânico para amenizar o efeito tóxico do cobre. De acordo com Costa et al., (2013) esses resultados também podem ser justificados pela melhoria nas características químicas, físicas e biológicas que a matéria orgânica proporciona no solo, resultando em maior desenvolvimento das plantas.

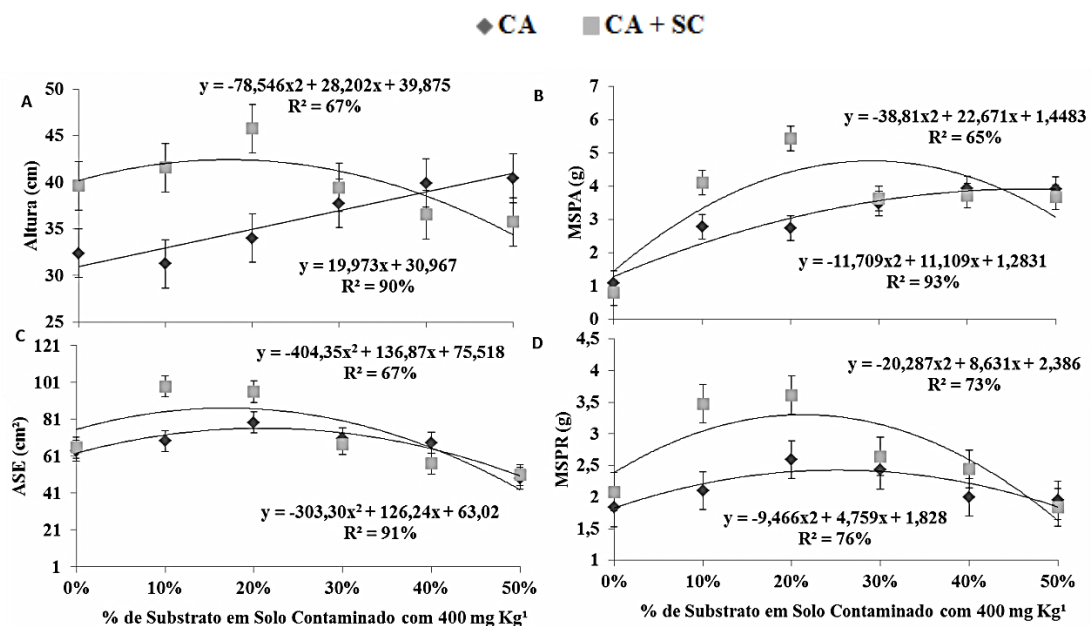


Figura 5 – Equações de regressão para a altura (A), massa seca da parte aérea - MSPA (B), Área Superficial específica ASE (C) massa seca da parte Raiz - MSPR (D) em mudas *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de proporções dos substratos cama de aves + substrato comercial (CA + SC) e cama de aves (CA). Frederico Westphalen, RS, 2016.*Somente equações de regressão com $r^2 > 0,60$ foram apresentadas.

Os substratos CA+SC e CA influenciaram positivamente a área superficial específica, com o maior desenvolvimento radicular nas proporções estimadas de 17 e 21%,

respectivamente (Figura 5C). Nesse caso, o maior desenvolvimento do sistema radicular em solo contaminado é desejável, pois possibilita maior absorção de água e nutrientes. O incremento na área superficial específica pode estar relacionado com o 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, 2013).

Não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre os substratos e as doses de substratos adicionadas em solo contaminado para Índice de Qualidade de Dickson (IQD). A elevação das proporções de substrato em solo contaminado com Cu influenciou positivamente a qualidade das mudas, sendo estimulada positivamente com ponto de máxima com adição de 27% de substrato (Figura 6A) sendo a mistura de CA+SC estatisticamente superior a cama (Figura 6B). Com o aumento da quantidade de cama de aves tem-se um acréscimo na quantidade de bactérias que fazem o processo de decomposição da cama de frango no substrato diminuindo a quantidade de oxigênio, o qual é fundamental para o desenvolvimento da planta (TORRES et al., 2011). Quanto maior o valor do índice de qualidade de Dickson melhor será o padrão de qualidade das mudas. A adição de substratos proporcionou aumento dos parâmetros morfológicos das mudas de *Enterolobium contortisiliquum* (Figura 6AB).

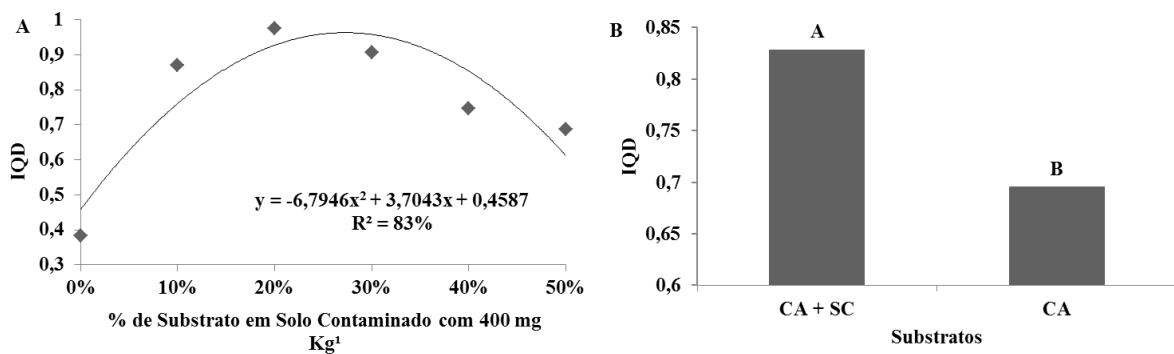


Figura 6 – Equações de regressão para as proporções de substrato adicionado a solo contaminado com 400 mg de Cu e comparação de médias entre os substratos cama de aves + substrato comercial (CA+SC) e cama de aves (CA) para o Índice de Qualidade de Dickson – IQD (B) em mudas *Enterolobium contortisiliquum*. Frederico Westphalen, RS, 2016.

Não houve interação significativa ($p > 0,05$) entre os substratos e as proporções de substratos adicionados em solo contaminado para carotenoides, clorofila total, valores de taxa de transporte de elétrons (ETR_{1500}) e a eficiência fotoquímica máxima do PSII (F_v/F_m) e também não houve diferença significativa entre os tratamentos e as doses para esses parâmetros (Figura 7). Os teores de carotenoides tendem a decrescerem nas doses intermediárias de substrato adicionado ao solo contaminado com cobre, nas quais as mudas de timbaúva apresentaram o

melhor desenvolvimento (Figura 7A). Os carotenoides podem atuar como agentes antioxidantes protegendo os lipídios de membrana do estresse oxidativo gerado nas plantas sob estresse (AZEVEDO NETO et al., 2008; FALK & MUNNÉ-BOSCH, 2010). Os carotenoides servem como um mecanismo fotoprotetor, liberando o excesso de energia antes que ela possa danificar o organismo (TAIZ e ZEIGER, 2013) desta forma, pode-se observar que as mudas com melhor desenvolvimento conseguem absorver uma maior quantidade de energia quando comparadas as mudas de timbaúva afetadas pelo excesso de metal.

A concentração de clorofila total demonstra uma diminuição de pigmentos fotossintéticos nas doses intermediárias de substratos adicionados no solo contaminado, este padrão indica efeito de diluição na concentração de pigmentos fotossintéticos em função do maior crescimento da planta (Figura 7B). Resultados semelhantes foram encontrados por Santana et al. (2015) trabalhando com fungos micorrízicos arbusculares e vermicomposto na fitorremediação de cobre em solo arenoso utilizando *Canavalia ensiformis*. Desta forma podemos observar maior desenvolvimento de mudas nas doses intermediárias tanto de cama de aviário como de CA + SC.

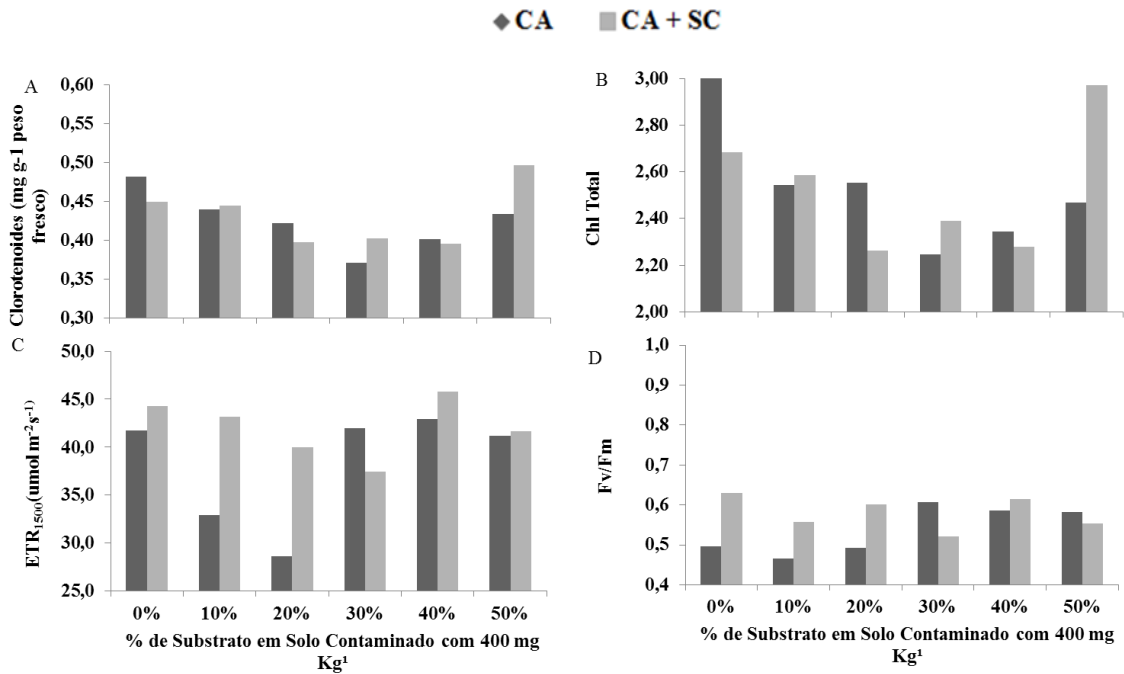


Figura 7 – Comparação de média entre os substratos cama de aves + substrato comercial (CA+SC) e cama de aves (CA) para carotenóides (mg g⁻¹ massa fresca) (A), clorofila total (µmol/g) (a + b) (B), Taxa de transporte de elétrons a mais alta radiação (ETR1500) (C) e eficiência fotoquímica máxima do PSII (Fv / Fm) (D) em mudas *Enterobolium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de doses crescente de substratos. Frederico Westphalen, RS, 2016.

Os valores da eficiência fotoquímica máxima (Fv/Fm) são menores que 0,83, sendo considerado como indicativo de estresse (MAXWELL & JOHNSON, 2000)(Figura 7D). A fluorescência é uma das formas de dissipação de energia da planta (TAIZ e ZEIGER, 2013), assim, quando os valores de Fv/Fm são baixos, maior é a fluorescência máxima(Fm), indicando que o fotossistema II (PS II) está ocupado, não tendo mais capacidade de absorver luz, não produzindo mais energia para a assimilação de carbono. SANTANA et al. (2015) encontrou menor eficiência fotoquímica (Fv/Fm) em *Canavalia ensiformis* cultivada em solo contaminado com cobre que recebeu adição de vermicomposto nas proporções de 0, 10 e 20%. A toxidez de cobre provoca degradação do cloroplasto e a substituição de Mg por Cu, com diminuição do Fv/Fm (CAMBROLLÉ et al., 2013). Em plantas de *Avicennia germinans* o cobre também reduziu os parâmetros de fluorescência da clorofila a (GONZÁLEZ-MENDOZA et al., 2013).

Os teores de cobre da parte aérea apresentaram ponto de mínimo na dose de 29 e 42% de CA+SC e CA respectivamente (Figura 8A). Esses resultados podem estar relacionados ao aumento o teor de matéria orgânica com a adição do substrato, pois a matéria orgânica forma complexos estáveis com metais pesados, desta forma reduzindo a disponibilidade dos metais para as plantas, apresentando efeito amenizante de toxicidade de cobre (KUMPIENE et al., 2008). Desta forma diminuindo a translocação de cobre para a parte aérea da planta.

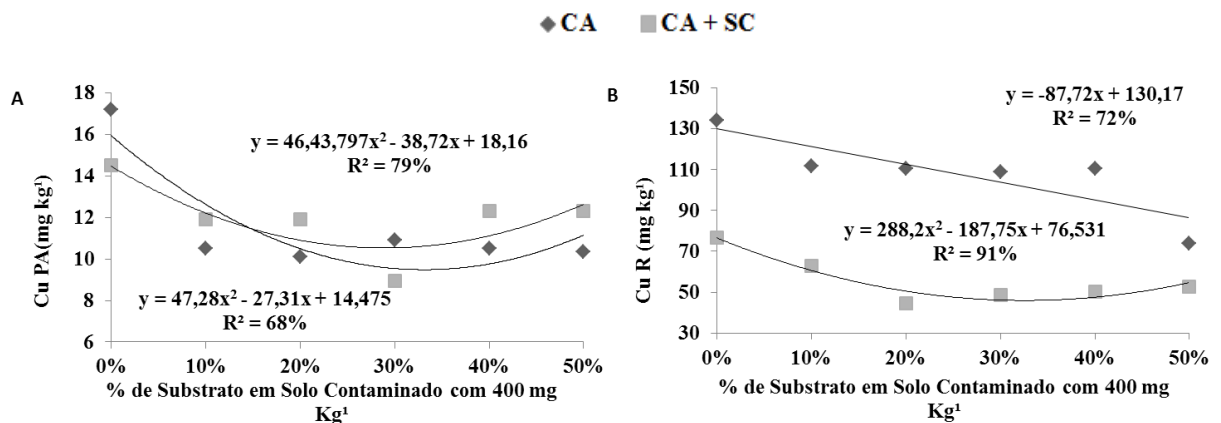


Figura 8 – Teor de cobre na parte aérea - CuPA (A), , teor de cobre na raiz - CuR (B), em mudas *Enterolobium contortisiliquum* submetidas a solo contaminado com cobre com adição de proporções dos substratos cama de aves + substrato comercial (CA + SC) e cama de aves (CA). Frederico Westphalen, RS, 2016.*Somente equações de regressão com $r^2 > 0,60$ foram apresentadas.

O teor de cobre no sistema radicular apresentou ponto de mínima de 32% para a CA+SC e decréscimo linear de acordo com a adição de CA em solo contaminado com cobre (Figura 8B). A matéria orgânica pode formar complexos estáveis com metais pesados, tornando-os menos disponíveis às plantas, possibilitando o estabelecimento das mesmas em áreas cuja

contaminação esteja muito elevada (SANTOS et al., 2010). Isso ocorre porque a fração húmica da matéria orgânica possui alta capacidade de reagir com metais, desta forma diminuindo a biodisponibilidade e a toxicidade deste metal para a planta.

5.4 CONCLUSÕES

Os parâmetros morfológicos são estimulados com a adição de 20 a 30 % de Cama de Aviário + Substrato comercial em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo.

Os teores de carotenoides diminuiram nas doses de substrato de melhor desenvolvimento das mudas de timbaúva, podendo estar relacionada ao menor stress fisiológico induzido pelo cobre no solo.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO NETO, A.D.; GOMES-FILHO, E.; PRISCO, J.T. Salinity and oxidative stress. In: Khan, N.A. and Singh, S. (ed.) Abiotic stress and plant responses. **I K International, New Delhi**, India, p.57-82, 2008.

BAGLYAS, F., PÓLOS, E. Chlorophyll fluorescence responses to pesticides with copper active ingredient in Pennon frankos and Narancsíz grape varieties. **J. Gradus** 1, p. 246–250. 2014.

BESNARD, G., P. BARADAT, AND A. BERVILLÉ. Genetic relationships in the olive (*Olea europaea* L.) reflects multilocal selection of cultivars. **Theor. Appl. Genet.** 102:251–258. 2001

BRIAT, J.F., LEBRUN, M. **Plant responses to metal toxicity**. C.R. Hebd. Seances Acad. Sci. (Paris) v. 22, p. 43–54 1999.

CAMBROLLÉ, J., GARCIA, J.L., OCETE, R., FIGUEROA, M.E., CANTOS, M., Growth and photosynthetic responses to copper in wild grapevine. **Chemosphere** v. 93, p. 294–301. 2013.

COSTA, E. M.; SILVA, H. F.; RIBEIRO, P. R. A. Matéria orgânica do solo e o seu papel na manutenção e produtividade dos sistemas agrícolas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, p. 1842-1860, 2013.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **The Forestry Chronicle**, Mattawa - ON, Canadá. v. 36, n. 1, p.10 – 13, mar., 1960.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages: UDESC, 2008, 230p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia** (UFLA), Lavras, Brasil, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

FALK, J.; MUNNÉ-BOSCH, S. Tocochromanol functions in plants: antioxidation and beyond. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.1549-1566, 2010.

GRINGS, Martin; BRACK, Paulo. Capítulo 5 - **Espécies Madeireiras**. In: **Lídio Coradin; Alexandre Siminski; Ademir Reis. (Org.). Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial - Plantas para o Futuro - Região Sul**. 1ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, v. 1, p. 13-934.

GONZÁLEZ-MENDOZA, D.; ESPADAS GIL, F.; ESCOBOZA-GARCIA, F.; SANTAMARÍA, J. M.; ZAPATA-PEREZ, O. Copper stress on photosynthesis of black mangle (*Avicennia germinans*). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 2, p. 665-670, 2013.

GONZÁLEZ, I. et al. Effect of compost and biodegradable chelate addition on phytoextraction of copper by *Oenothera picensis* grown in Cu-contaminated acid soils. **Chemosphere**, v. 95, p. 111–115. 2014.

HENDRY, G.A.F., PRICE, A.H. Stress indications: chlorophylls and carotenoids. In: Hendry, G.A.F., Grime, J.P. (Eds.), **Methods in Comparative Plant Ecology: A Laboratory Manual**. Chapman and Hall, London, pp. 148–152, 1993.

JORIS, H. A. W. et al. Adsorção de metais pesados após calagem superficial em um latossolo vermelho sob sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, V. 43, n. 1, p. 1-10, mar. 2012.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4th. Ed. Boca Raton: CRC Press, 2011.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review. **Waste Management**, v. 28, p. 215–225, 2008.

LUZ, J. M. Q.; MORAIS, T. PS.; BLANK, A. F.; SODRÉ, A. C. B.; OLIVEIRA, G. S. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço sob doses de cama de frango. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 349 – 353, 2009.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods Enzymol**. v. 148, p. 350–382, 1987.

MARSCHNER, P. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. Amsterdam, Netherlands: Elsevier/Academic Press, 2011. 684p.

MARCUZZO, S. B. ; ARAUJO, M. M. ; GASPARIN, E. . Plantio de espécies nativas para restauração de áreas em unidades de conservação: um estudo de caso no sul do Brasil. **Floresta** (UFPR. Impresso), v. 45, p. 129-140, 2015.

MAXVELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence - a practical guide. **Journal of experimental botany**, v. 51, n. 345, p. 659-668, april, 2000.

MIOTTO, A., CERETTA, C.A., BRUNETTO, G., NICOLOSO, F.T., GIROTTO, E., FARIAS, J., TIECHER, T.L., DE CONTI, L., TRENTIN, G. Copper uptake, accumulation and physiological changes in adult grapevines in response to excess copper in soil. **Plant Soil** v. 374, p. 593–610, 2014.

MIYAZAWA, M. et al. Análise química de tecido vegetal. In: SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. Cap. 2, p.59-85.

OLIVEIRA, J. J. F. ; SOUZA, R. F. ; Carneiro, R. F. V. ; FONSECA, J. M. Crescimento inicial de plantas de leucena frente à inoculação micorrízica e adubação orgânica. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, p. 212-220, 2013.

PARK, J.H., LAMB, D., PANEERSELVAM, P., CHOPPALA, G., BOLAN, N. CHUNG, J.W. Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. **Journal of Hazardous Materials**, v. 185, p. 549–574, 2011.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: **A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science**. *Adv. Agron.*, 75:57-133, 2002

REGENSBURGER, B.; COMIN, J. J.; AUMOND, J. J.; Integração de técnicas de solo, plantas e animais para recuperar áreas degradadas. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1773-1776, 2008.

SANTANA, N. A. ; FERREIRA, P. A. A. ; SORIANI, H. H. ; BRUNETTO, G. ; NICOLOSO, F. T. ; ANTONIOLLI, ZAIDA INÊS ; JACQUES, RODRIGO JOSEMAR SEMINOTI . Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil. **Applied Soil Ecology** (Print), v. 96, p. 172-182, 2015.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I.T.; OLIVEIRA, M. E. C. Produção da cultura da mamoneira em função da fertilização com cama de galinha. **Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal**, v. 7, n. 1, p. 169-180, 2010.

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. **Revista Ciência Florestal**, v. 21, p. 105-112, 2011a.

SILVA F. R. 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). **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 111-118, jan.-mar., 2011b.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: Artmed Editora. 5ª ed. 2012. 954 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TAVARES, S. R. de L. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos básicos e fundamentos**. Rio de Janeiro, RJ, 2013, 147p.

TENNANT, D. A. Test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

Torres G. T.; Vendruscolo M. C.; Santi A.; Soares V. M.; Pereira P. S. X. Desenvolvimento de Mudas de Pinhão Manso sob Diferentes Doses de Cama de Frango no Substrato. **Revista Verde** (Mossoró – RN – Brasil) v.6, n.4, p. 244 - 250 outubro/dezembro de 2011.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas de contaminação por cobre também estão em expansão, sendo a mineração e o beneficiamento de seus produtos, a queima de combustíveis fósseis, aplicação de lodos de esgotos, águas residuais e de resíduos industriais as principais fontes de contaminação por cobre no solo (ANDREAZZA et al., 2010). As espécies arbóreas nativas respondem de maneira diferenciada em solos contaminados com cobre. Mudanças de *Enterolobium contortisiliquum* e *Peltophorum dubium* apresentam maior armazenamento do cobre nas raízes, com baixa translocação para a parte aérea, tendo sua massa seca da parte aérea incrementada com pequenas doses do metal, enquanto que a massa seca de *Parapiptadenia rigida* não é afetada (SILVA et al., 2011). Enquanto Caires et al. (2011) observaram em mudas de *Cedrela fissilis* que o aumento da concentração de cobre no solo promoveu maior crescimento das raízes em relação a parte aérea, e maior quantidade de cobre acumulada nas raízes, desta forma não transloca o metal para a parte aérea. Nesse sentido podemos observar que 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 carne de vaca.

A adição de resíduos orgânicos, provenientes da atividade animal, como componentes para formulação de substratos tem se constituído uma alternativa viável para preservação ambiental, pois quando esses materiais não são destinados adequadamente, podem causar impactos ao meio ambiente (SANTOS et al., 2010). Trabalhando com substratos orgânicos Trazzi et al. (2014) observaram que a adição de 35% de cama de aves no substrato apresentou a maior quantidade de nutrientes nas mudas de *Tectona grandis*. A adição de cama de aves no substrato comercial influenciou positivamente os parâmetros morfológicos das mudas de timbaúva, a dose onde se teve melhores resultados foi de aproximadamente 36% de cama de aviário ao substrato comercial e de 33% à turfa, também é possível um efeito benéfico na estruturação física do substrato com a adição de cama de aviário.

Em muitos casos o teor de cobre no solo é muito elevado, desta forma dificulta a implantação de plantas para descontaminar o solo. Para auxiliar na implantação das plantas e reduzir os teores de metais no solo, utiliza-se amenizantes para a descontaminação do solo. Não há evidências de estudos relacionados à cama de aviário com amenizantes de solo contaminado com cobre, mas a adição de cama aviária ao solo aumenta o teor de MO do solo. Rees et al. (2014) observaram que, além da troca catiônica e complexação com a matéria orgânica solúvel,

um dos principais efeitos foi a imobilização de metais através da ligação com as fases minerais. A adição de cama de aviário + substrato comercial foi eficiente como amenizante em solo contaminado com 400 mg de Cu Kg⁻¹ de solo, além de estimular os parâmetros morfológicos da planta e os parâmetros fisiológicos mostram que há uma influência negativa nas mudas de timbaúva em função dos valores da eficiência fotoquímica máxima (Fv/Fm) que são inferiores a 0,83 em todos os tratamentos e doses testadas.

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.
- ACCIOLY, A. M. A.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Silicato de cálcio como amenizantes da toxidez de metais pesados no solo para mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 2, p. 180-188, fev. 2008.
- ANDREAZZA, R.; OKEKE, B.C.; LAMBAIS, M.R.; BORTOLON, L.; MELO, G.W.B.; CAMARGO, F.A.O. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, v.81, p.1149-1154, 2010.
- ANDREAZZA, R. ; BORTOLON L.; PIENIZ, S. ; BARCELLOS, A.A. ; QUADRO, M.S. ; CAMARGO, F.A.O. Phytoremediation of Vineyard Copper-Contaminated Soil and Copper Mining Waste by a High Potential Bioenergy Crop (*Helianthus annuus* L.). **Journal of Plant Nutrition** , v. 38, p. 1580-1594, 2015.
- BAKER, D. E. **Copper**. In: ALLOWAY, B. J. Heavy metals in soils. New York: John Wiley, 1990. p.151-175.
- BRADL, H. B. Adsorption of heavy metal ions on soils and soils constituents. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 277, p. 1-18, 2004.
- 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**, v. 35, p. 1181-1188, 2011.
- CAMPOS, M. L.; PIERANGELI A. P.; GUILHERME L. R. G.; MARQUES J. J. CURI N. Baseline concentration of heavy metals in Brazilian Latosols. **Communication Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 547-557, 2003.
- CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>>. Acesso em: 06 Jan. 2016.
- COSTA, A. M.; BORGES, E. N.; SILVA, A. de A.; NOLLA, A.; GUIMARÃES, E. C. Potencial de recuperação física de um Latossolo Vermelho, sob pastagem degradada influenciado pela aplicação de cama de frango. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 1991-1998, 2009. Especial
- CUNHA, K. P. V.; NASCIMENTO C. W.; PIMENTEL R. M.; FERREIRA C. P. Cellular localization of cadmium and structural changes in maize plants grown on a Cd contaminated soil with and without liming. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, V. 160, n. 1, p. 228-234, Dec. 2008.

EHLERS T.; ARRUDA G. O. S F.; Utilização do pó de basalto em substratos para mudas de *Eucalyptus grandis*. **Floresta Ambiente**. vol.21 Seropédica Jan./Mar. 2014.

FERRARI, M P. **Cultivo do Eucalipto: Produção de Mudanças**. Sistemas de Produção 4. Versão Eletrônica. 2003.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, ed.3, p.421, 2013.

GALINDO, I. C. L.; BEZERRA S. A.; NASCIMENTO C. W. A. do; ACCIOLY A. M de A. Fertilizantes fosfatados e orgânicos e seus efeitos na imobilização de chumbo em solo contaminado. **Caatinga**, Mossoró, v. 18, n. 1, p. 58-65, 2005.

GIROTTI, E. Alterações fisiológicas e bioquímicas em plantas cultivadas em solos com acúmulo de cobre e zinco. **Tese (Doutorado) Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.

GIROTTI, E.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; SANTOS, D. R.; SILVA, L. S.; LOURENZI, C. R.; LORENSINI, F.; RENAN VIEIRA, C. B.; SCHMATZ, R. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34 (3), p.955-965. 2010.

GRASSI FILHO, H. **Cobre na planta**. In: UNIVERSIDADE ESTADUA PAULISTA. FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS. Departamento de Recursos Naturais. Ciência do Solo, 2005.

GRINGS, Martin; BRACK, Paulo. Capítulo 5 - Espécies Madeireiras. In: Lídio Coradin; Alexandre Siminski; Ademir Reis. (Org.). Espécies Nativas da Flora Brasileira de Valor Econômico Atual ou Potencial - **Plantas para o Futuro** - Região Sul. 1ed.Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011, v. 1, p. 13-934.

HOODA, P. S. Assessing bioavailability of soil trace elements. In: HOODA, P S. (Ed). **Trace elements in soil**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. P. 229-265.

HUGEN, C. MIQUELLUTI D. J; CAMPOS L M; ALMEIDA J. A. de; FERREIRA E. R. N.C; POZZAN M.. Teores de Cu e Zn em perfis de solos de diferentes litologias em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 622–628, 2013.

KROB, A. D. MORAES S. ; SELBACH P. A.; BENTO F. M; CAMARGO F. A. de O. Propriedades químicas de um Argissolo tratado sucessivamente com composto de lixo urbano. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 433-439, 2011.

KUMPIENE, J.; LAGERKVIST, A.; MAURICE, C. Stabilization of As, Cr, Cu, Pb and Zn in soil using amendments – A review. **Waste Management**, v. 28, p. 215–225, 2008.

KÜPPER, H.; KÜPPER, F.; SPILLER, M. Environmental relevance of heavy metal substituted chlorophylls using the example of water plants. **Journal of Experimental Botany** v. 47, p. 259–266, 1996.

LLORENS, N.; AROLA, L.; BLADÉ, C.; MAS, A. Effects of copper exposure upon nitrogen metabolism in tissue cultured *Vitis vinifera*. **Plant Science**, v.160(1), p.159-163, 2000.

LOPES, A.S.; ABREU, C.A.; SANTOS, G.C.G. Micronutrientes. In: NEVES, J.C.L.; DIAS, L.E.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. v.1. 368p.

LUZ, J. M. Q.; MORAIS, T. PS.; BLANK, A. F.; SODRÉ, A. C. B.; OLIVEIRA, G. S. Teor, rendimento e composição química do óleo essencial de manjeriço sob doses de cama de frango. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 3, p. 349 – 353, 2009.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA M. E.; CRUZ M. C. P.; BARBOSA J. C. Alterações nos atributos de fertilidade em solo adubado com composto de lixo urbano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 5, p. 817-824, 2005.

MARQUES, M.; AGUIAR, C. R. C. e JONATAS.; SILVA, J. L. S. Desafios técnicos e barreiras sociais, econômicas e regulatórias na fitorremediação de solos contaminados. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, v.35, p. 1-11, 2011.

MARTIN, T. N.; LIMA, L. B.; RODRIGUES, A.; GIRALDI, E.; FABRI, E. G.; MINAMI, K. Utilização da vermiculita, casaca de pínus e carvão na produção de pepino e de pimentão. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v 28, n. 1, p. 1007-113, 2006.

MIRLEAN, N.; ROISENBERG, a.; CHIES, J. Metal contamination of vineyard soils in wet subtropics (southern Brazil). **Environmental Pollution, Oxford**, v. 149, 0. 20-17, 2007.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Áreas Contaminadas**. Disponível em:<<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-perigosos/areas-contaminadas>>. Acesso em: 06 jan. 2016.

MOORE, P.A.; DANIEL, T.C.; GILMOUR, J.T.; SHREVE, B.R.; EDWARDS, D.R.; WOOD, B.H. Decreasing metal runoff from poultry litter with aluminum sulfate. **Journal of Environmental Quality**, v.27, p.92-99, 1998.

MOREIRA D. A.; SOUZA J.R. DE; REIS E.; GARIGLIO H. A.; REIS C. Estudo da Adsorção Simultânea de Cobre, Níquel e Zinco por Vermicomposto Utilizando Planejamento Fatorial. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 2, p. 216-227, abr/jun. 2012.

REES, F.; SIMONNOT, M.O.; MOREL, J.L. Short-term effects of biochar on soil heavy metal mobility are controlled by intra-particle diffusion and soil pH increase. **European Journal of Soil Science**, v.65, p.149-161, 2014.

RODRIGUEZ-RUBIO, P.; MORILLO, E.; MADRID, L.; UNDABEYTIA, T.; MAQUEDA, C. Retention of copper by calcareous soil and its textural fractions influence of amendment with two agroindustrial residues. **European Journal of Soil Science**, Harpenden, v. 54, p. 401-409, 2003.

SANTOS N. M.; ACCIOLY A. M. DE A.; WILLIAMS C.; NASCIMENTO A.; SANTOS J. A. G.; SILVA I. R. Ácidos Húmicos e Carvão Vegetal Ativado como Amenizantes em Solo Contaminado por Chumbo. **R. Bras. Ci. Solo**, 38:345-351, 2014.

SANTOS, G. C. G.; RODELLA, A. A. Efeito da adição de fontes de matéria orgânica como amenizantes do efeito tóxico de B, Zn, Cu, Mn E Pb no cultivo de *Brassica juncea*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 793-804, 2007.

SANTOS, J. F.; GRANGEIRO, J. I.T.; OLIEIRA, M. E. C. Produção da cultura da mamoneira em função da fertilização com cama de galinha. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 1, p. 169-180, 2010.

SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Valores de referência de elementos potencialmente tóxicos nos estados do Pará, Rondônia e Mato Grosso. Viçosa, 2013. 44p. (**Boletim Informativo SBCS**).

SCHWAB, P.; ZHU, D.; BANKS, M.K. Heavy metal leaching from mine tailings as affected by organic amendments. **Bioresource Technology**, v.98, p.2935–2941. 2007.

SEGANFREDO, M. A. **Fosforo, cobre e zinco em solo submetidos à aplicação de dejetos animais: teores, formas e indicadores ambientais**. 2013. 152 . **Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia**, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre/RS, 2013.

SILVA, R. F. da.; LUPATINI M.; ANTONIOLLI Z. I.; LEAL L. T.; JUNIOR C. A. M. Comportamento de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub., *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan e *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong cultivadas em solo contaminado com cobre. **Ciência Florestal**, v. 21, p. 103–110, 2011.

SILVA, R. F.; DA ROS, C. O.; DELLAI, A. SCHEID, D. L.; GROLLI A. L.; ALMEIDA. H. S.; Bioestimulação micorrízica com óleo essencial em mudas de *Enterolobium contorsiliquum* e *Bauhinia forficata* em solo contaminado com cobre. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 36, n. 3, p. 1253-1262, maio/jun. 2015.

SIMÃO, J. B.P. Mitigação de fitotoxidez de metais pesados no solo, através do uso de materiais orgânicos e inorgânicos. 1999. 135 p. **Tese (Doutorado em solos e Nutrição de Plantas)** – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SUGUINO E.; Influencia dos substratos no desenvolvimento de mudas de plantas frutíferas. **Tese (Doutorado)**. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiros”. Universidade de São Paulo. Piracicaba. 2006.

TACK, F. M. G. Trace elements: general soil chemistry, principles and processes. In: HOODA. P. (Ed) **Trace elements in soil**. Chichester: Wiley-Blackwell, 2010. P. 09-37.

TAVARES, S. R. de L. **Remediação de solos e águas contaminadas por metais pesados: Conceitos básicos e fundamentos**. Rio de Janeiro, RJ, 2013. 147p.

TRAZZI, P. A.; DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W. Concentração e quantidade de nutrientes em mudas de Teca produzidas em substratos orgânicos. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.2, n.1, p.19-31, jan./abr., 2014

YADAV, S. K. Heavy metals toxicity in plants: an overview on the role of glutathione and phytochelatins in heavy metal stress tolerance of plants. **South African Journal of Botany**, v. 76 (2), p.167-179, 2010.

YRUELA, I. Copper in Plants. **J. Plant Physiol.**, v. 17, p. 145-156, 2005.

YRUELA, I. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. **Functional Plant Biology**, v. 36, p. 409-430, 2009.

YRUELA, I. Transition metals in plant photosynthesis. **Metallomics**, v. 5, p. 1090-1109, 2013.