

**UFRRJ
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

DISSERTAÇÃO

**BIOSSÓLIDO NA RESTAURAÇÃO FLORESTAL: FORMAÇÃO DE
MUDAS E ADUBAÇÃO DE PLANTIO**

PEDRO LIMA FILHO

**Setembro – 2015
Seropédica - RJ**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

**BIOSSÓLIDO NA RESTAURAÇÃO FLORESTAL: FORMAÇÃO DE
MUDAS E ADUBAÇÃO DE PLANTIO**

PEDRO LIMA FILHO

Sob a Orientação do Professor
Paulo Sérgio dos Santos Leles

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências Ambientais e Florestais**, ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, Área de Concentração Silvicultura e Manejo Florestal.

Seropédica – RJ
Setembro – 2015

628.38

L732b

T

Lima Filho, Pedro, 1990-

Biossólido na restauração florestal:
formação de mudas e adubação de plantio /
Pedro Lima Filho. - 2015.

88f.: il.

Orientador: Paulo Sérgio dos Santos

Leles.

Dissertação (mestrado) - Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Curso de
Pós-Graduação em Ciências Ambientais e
Florestais.

Inclui bibliografias.

1. Lodo residual - Reaproveitamento -
Teses. 2. Lodo residual como fertilizante -
Teses. 3. Crescimento (Plantas) - Teses. 4.
Plantas - Adubos e fertilizantes - Teses.
5. Adubos e fertilizantes orgânicos -
Teses. I. Leles, Paulo Sérgio dos Santos,
1966-. II. Universidade Federal Rural do
Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em
Ciências Ambientais e Florestais. III.
Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E FLORESTAIS**

PEDRO LIMA FILHO

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências Ambientais e Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais, área de concentração em Silvicultura e Manejo Florestal.

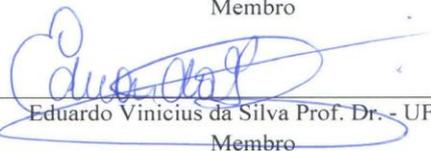
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 22/05/2015



Paulo Sérgio dos Santos Leles Prof. Dr. - UFRRJ
Orientador



Marcos Vinicius Winckler Caldeira Prof. Dr. - UFES
Membro



Eduardo Vinicius da Silva Prof. Dr. - UFRRJ
Membro

*Dedico à Amizade,
sem a qual nenhum projeto sai do papel...*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Grande Pai Celestial, que é todo poder e bondade, sempre me dando força em todas as provações, fazendo com que eu busque a verdade, a compaixão e a caridade.

Aos meus eternos escudos protetores, meu pai, Edilene e Pedro Lima. Vocês são a razão do meu viver, as pessoas que tenho admiração, respeito e amor imensuráveis, das quais eu vivo sempre tentando dar orgulho e honrá-los. É para vocês esta vitória.

Aos meus irmãos, Clara Cynthia e Mário, pessoas que sempre posso contar e orgulhar de dizer que sou irmão.

À minha querida e espetacular namorada, Daiane, que faz as coisas ficarem mais lindas quando estamos juntos. “Gosto quando olho com você o mundo, e gosto mais do mundo quando posso olhar para ele com você.”

Aos meus grandes amigos Alan, Alysson, Elton, Gilsonley e Ricardo, pelo incondicional apoio e conselhos. Pessoas que sempre estão querendo meu melhor.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro por ter me formado em Engenharia Florestal e me possibilitado ingressar no Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais e Florestais.

À Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE), pelo apoio, incentivo a pesquisa e, principalmente, por acreditar que o mundo pode ser melhor.

À Associação de Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (AGEVAP), que através do Comitê Guandu financiou parte desta pesquisa.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À PCH Santa Rosa S/A pela instalação e manutenção da parte de campo deste estudo.

À Cerâmica Vulcão Ltda por ceder o solo e está sempre estar disposta a ajudar nos trabalhos de pesquisa desenvolvidos por este laboratório.

Um agradecimento especial à Acácia Amarela, empresa que sempre concede ajuda nos momentos mais precisos.

Agradeço ao amigo e professor Paulo Sérgio, pela orientação acadêmica e pessoal, sem o qual eu não teria chegado onde estou. Lembrarei-me dos seus conselhos por toda minha vida.

A toda a equipe do Laboratório de Pesquisas e Estudos em Reflorestamento (LAPER), inclusive os que já se formaram, pelo convívio e aprendizados. Em especial aos amigos Dereck, Tafarel, Gabriel, Gerhard, Flávio, Aline, Juçara e Thasso, que ajudaram em algumas das fases do projeto.

Um agradecimento especial à amiga Aline Fonseca, que sempre mostrou disposição e companheirismo na execução das diferentes fases deste estudo.

Ao professor Eduardo Vinícius que sempre está à disposição para ajudas e por aceitar participar de banca.

Ao professor Marcos Caldeira por se deslocar de tão distante para participar da banca.

Ao Técnico Sebastião Corrêa da Costa pelo auxílio nas atividades de viveiro.

Agradeço ao pessoal do alojamento M 4-412, principalmente ao Weverton, por sempre ter este ponto de apoio.

Ao amigo Fernando, que esteve junto em um dos momentos mais complicados por qual passei, me ensinando a não dar “murros em ponta de faca”.

Aos colegas do Mestrado, Ana Carolina, Felipe e José que sempre me ajudaram nas disciplinas.

Aos amigos que fiz na UFRRJ, Adeliton, Ananias, Angelus, Ari, Charles, Hudson, Jean, José Antônio, Lucas N., Lucas F., Norton, Renan, Robson e Ronny, os quais me propiciaram muitas alegrias e lembranças maravilhosas.

A todos outros amigos que não foram citados aqui, mas que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

RESUMO

LIMA FILHO, Pedro. Biossólido na restauração florestal: produção de mudas e adubação de plantio. 2015. 100f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

O biossólido é um produto oriundo do tratamento do esgoto doméstico realizado pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETS) que possui grande quantidade de matéria orgânica e altos teores de nutrientes. A utilização desse material na restauração florestal é uma forma de reduzir os custos tanto na produção de mudas como na implantação dos povoamentos florestais. No entanto sua utilização pode causar a contaminação do solo e cursos hídricos pela percolação de nutrientes e metais pesados. A primeira parte deste estudo tem o objetivo de verificar a potencialidade do biossólido como substrato na produção de mudas florestais nativas em diferentes volumes de tubetes. Constatou-se que o tubete de 110 cm³ foi o que proporcionou os melhores resultados para *Ceiba speciosa* e *Pseudobombax grandiflorum*. Na segunda etapa, verificou-se o crescimento e nutrição de plantas de *Ceiba speciosa* utilizando do biossólido como adubação de plantio, bem como a influência deste material no solo, em condições de vaso de 20 Litros. Observou-se a dose entre 3,9 e 4,2 L/planta⁻¹ de biossólido apresentou melhor crescimento e nutrição das plantas, além de garantir a disponibilidade de nutrientes no solo seis meses após o plantio. A terceira parte deste estudo objetivou-se avaliar o crescimento de três espécies nativas e a concentração dos nutrientes nas camadas do solo quando se aplica o biossólido na fertilização inicial do povoamento. O biossólido favoreceu o crescimento das plantas, obtendo aumento de até 96% em relação às plantas não adubadas. Não foi constatada diferenças nas concentrações de N, P e K nas camadas do solo bem como não obteve o acúmulo de metais pesados acima dos limites estipulados pela legislação vigente. De modo geral, o biossólido proporciona a produção de mudas florestais de qualidade em recipientes de menor volume, aumenta o crescimento das plantas e, até a dose de 3,0 L/planta⁻¹, garante a segurança ambiental.

Palavras chave: lodo de esgoto, nutrição florestal e espécies da Mata Atlântica.

ABSTRACT

LIMA FILHO, Pedro. Biosolid in forestry restoration: seedling production and planting fertilization. 2015. 100p. Dissertation (Master in Forestry and Environmental Sciences). Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ.

Biosolid is a product from domestic sewage treatment done by the Sewage Treatment Stations (STS) that has a large amount of organic matter and high levels of nutrients. The utilization of this material in forestry restoration is one way to reduce costs, both in the seedling production as well as in the development of forest stands. However, its utilization may lead to soil and water contamination via the percolation of nutrients and heavy metals. The first part of this investigation aims to verify the potential of biosolid as a substrate in native forestry seedling production under different tube volumes. Tubes of 110 cm³ yielded the best results with *Pseudobombax grandiflorum*. At the second stage, the growth and nutrition of *Ceiba speciosa* were verified utilizing biosolid as planting fertilizer, as well as the influence of this material in soil, in 20 liters pots. The dose between 3.9 and 4.2 L plant^{-1} presented the best growth and nutrition, and guaranteed nutrient availability in soil six months after planting. The third part of this investigation aimed to evaluate the growth of three native species and nutrient concentration in the soil layers when biosolid was applied in the initial fertilization of the stand. The biosolid encouraged plant growth, resulting in an increase in growth of up to 96% when compared to the non-fertilized plants. There were no verified differences in the concentrations of N, P and K in the soil layers, nor was there accumulation of heavy metals over the limits stipulated by current legislation. In general, biosolid provides quality forestry seedling production in lower volume-recipients, increases plant growth, and guarantees environmental safety up to 3.0 L plant^{-1} .

Key words: sewage sludge, forestry nutrition and species of the Atlantic Forest.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I: VOLUME DE TUBETES E DESEMPENHO EM CAMPO DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS, UTILIZANDO BIODOSSÍLIDO COMO SUBSTRATO | 10 |
| Tabela 1: Análise química do biodossólido utilizado como componente do substrato para a produção de mudas florestais da Mata Atlântica..... | 13 |
| Tabela 2: Características dos recipientes utilizados para a produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica utilizando o biodossólido como substrato..... | 14 |
| Tabela 3: Análise química do solo (camada de 0-25 cm) em área experimental de reflorestamento da PCH Santa Rosa S.A, Município de Bom Jardim, RJ | 15 |
| Tabela 4: Médias de variáveis de crescimento de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica produzidas em diferentes volumes de tubetes, no final da fase de viveiro | 20 |
| Tabela 5: Percentual de sobrevivência de espécies florestais da Mata Atlântica aos seis meses após o plantio, oriundas de mudas produzidas em quatro volumes de tubetes, em área experimental de reflorestamento, Bom Jardim - RJ | 22 |
| | |
| CAPÍTULO II: DOSES CRESCENTES DE BIODOSSÍLIDO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE <i>CEIBA SPECIOSA</i> , E SEUS EFEITOS NO SOLO | 30 |
| Tabela 1: Análise química do solo utilizado para o crescimento das plantas de <i>Ceiba speciosa</i> sob diferentes tratamentos de fertilização..... | 33 |
| Tabela 2: Análise química do biodossólido utilizado como fertilizante no crescimento de <i>Ceiba speciosa</i> , em diferentes dosagens..... | 33 |
| Tabela 3: Variáveis de crescimento de <i>Ceiba speciosa</i> , em cultivo em vasos sob duas formas de adubação de plantio e testemunha, após seis meses de idade..... | 36 |
| Tabela 4: Teor médio de macronutrientes e de metais pesados em plantas de <i>Ceiba speciosa</i> , submetidas a diferentes adubações de plantio, aos seis meses após o plantio em vasos | 41 |
| Tabela 5: Conteúdo de nutrientes de plantas de <i>Ceiba speciosa</i> , em cultivo em vasos, aos seis meses de idade, submetidas a diferentes adubações de plantio..... | 48 |
| Tabela 6: Teor de nutrientes no solo, em cultivo de <i>Ceiba speciosa</i> , aos seis meses de idade, submetida a dois tipos de adubação de plantio e sem fertilização | 52 |
| | |
| CAPÍTULO III: BIODOSSÍLIDO COMO FERTILIZANTE DE PLANTIO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO | 61 |
| Tabela 1: Análise química do solo (camada de 0-25 cm) em área experimental de reflorestamento da PCH Santa Rosa S.A., Município de Bom Jardim, RJ | 65 |
| Tabela 2: Análise química de biodossólido da estação de tratamento de esgoto (ETE), Caju, Cidade do Rio de Janeiro | 65 |
| Tabela 3: Valores médios e desvio padrão (entre parênteses) de três espécies florestais nativas aos 12 meses após o plantio, submetidas a doses biodossólido como adubação de plantio e sem fertilização..... | 69 |
| Tabela 4: Crescimento de três espécies florestais nativas aos 12 meses após o plantio, submetidas à adubação de plantio com biodossólido, superfosfato simples e sem adubação | 71 |
| Tabela 5: Teor de nutrientes no solo, após 12 meses da aplicação de diferentes adubos de plantio e tratamento não fertilizado | 76 |

| | |
|--|----|
| Tabela 6: Teor de metais pesados no solo, após 12 meses da aplicação de diferentes adubos de plantio e tratamento não fertilizado..... | 76 |
| Tabela 7: Concentração média de metais pesados no solo de restauração florestal após 12 meses da aplicação de 3,0 Lcova ⁻¹ de bio sólido..... | 80 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO I: VOLUME DE TUBETES E DESEMPENHO EM CAMPO DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS, UTILIZANDO BIOSSÓLIDO COMO SUBSTRATO..... | 10 |
| Figura 1: Precipitação total (barras) e temperatura média (linha), por quinzena, de outubro de 2013 a agosto de 2014..... | 15 |
| Figura 2: Crescimento de quatro espécies florestais da Mata Atlântica ao longo do tempo, em quatro volumes de tubetes. | 16 |
| Figura 3: Crescimento em campo, aos seis meses após o plantio, de <i>Ceiba speciosa</i> e de <i>Pseudobombax grandiflorum</i> , em área de reflorestamento, de Bom Jardim – RJ, originárias de mudas produzidas em quatro volumes de tubetes..... | 23 |
| | |
| CAPÍTULO II: DOSES CRESCENTES DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE <i>CEIBA SPECIOSA</i> , E SEUS EFEITOS NO SOLO | 30 |
| Figura 1: Curvas de crescimento em altura e diâmetro de coleto de plantas de <i>Ceiba speciosa</i> , ao longo do tempo, sob diferentes tratamentos de adubação de plantio, cultivadas em vasos | 35 |
| Figura 2: Altura e diâmetro de coleto de <i>Ceiba speciosa</i> em função de diferentes doses de biossólido por plantas cultivadas em vasos, aos seis meses após o plantio | 37 |
| Figura 3: Matéria seca de caule e de raízes de <i>Ceiba speciosa</i> em função de diferentes doses de biossólido por plantas cultivadas em vasos, aos seis meses após o plantio | 38 |
| Figura 4: Área foliar e massa seca de folhas de <i>Ceiba speciosa</i> em função de diferentes doses de biossólido por plantas cultivadas em vasos, aos seis meses após o plantio | 38 |
| Figura 5: Crescimento relativo de <i>Ceiba speciosa</i> em diferentes doses de biossólido e adubação com superfosfato simples (SS), em relação à testemunha, aos seis meses após o plantio | 39 |
| Figura 6: Conteúdo de macronutrientes por planta de <i>Ceiba speciosa</i> em função de doses crescentes de biossólido como fertilização inicial, aos seis meses após o plantio | 42 |
| Figura 7: Conteúdo de diferentes metais pesados por planta de <i>Ceiba speciosa</i> em função de doses crescentes de adubação de plantio utilizando o biossólido, após seis meses de plantio | 46 |
| Figura 8: Teor de macronutrientes, alumínio e capacidade de troca catiônica no solo, em cultivo de <i>Ceiba speciosa</i> em vasos, em função de doses crescentes de biossólido por planta, aos seis meses após o plantio | 49 |
| Figura 9: Teor de micronutrientes no solo, em cultivo de <i>Ceiba speciosa</i> em vasos, em função de doses crescentes de biossólido por planta, aos seis meses após o plantio | 50 |
| Figura 10: Teor de metais pesados no solo em cultivo de <i>Ceiba speciosa</i> em vasos, em função de doses crescentes de biossólido por planta, aos seis meses após o plantio | 51 |
| | |
| CAPÍTULO III: BIOSSÓLIDO COMO FERTILIZANTE DE PLANTIO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO..... | 61 |
| Figura 1: Crescimento de três espécies florestais da Mata Atlântica em decorrência da fertilização de plantio com diferentes doses de biossólido e adubação química..... | 67 |
| Figura 2: Crescimento relativo de três espécies florestais nativas da Mata Atlântica em decorrência da fertilização de plantio com diferentes doses de biossólido e adubação química | 70 |

SUMÁRIO

| | |
|--|------|
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| LISTA DE TABELAS | viii |
| LISTA DE FIGURAS | x |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL | 1 |
| 2. OBJETIVO GERAL..... | 2 |
| 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... | 2 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 2 |
| 3.1. Tubetes na produção de mudas florestais | 2 |
| 3.2. Bioossólido na produção de mudas..... | 4 |
| 3.1. Adubação de campo com o bioossólido..... | 4 |
| 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 6 |
| CAPÍTULO I: VOLUME DE TUBETES E DESEMPENHO EM CAMPO DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS, UTILIZANDO BIOSSÓLIDO COMO SUBSTRATO..... | 10 |
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 11 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 12 |
| 2. OBJETIVOS | 12 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 13 |
| 3.1. Fase de viveiro | 13 |
| 3.2. Fase de campo..... | 14 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 16 |
| 4.1. Fase de viveiro | 16 |
| 4.2. Fase de campo..... | 22 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 25 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 25 |
| CAPÍTULO II: DOSES CRESCENTES DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE <i>CEIBA SPECIOSA</i> , E SEUS EFEITOS NO SOLO | 30 |
| RESUMO | 31 |
| ABSTRACT | 31 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 32 |
| 2. OBJETIVOS | 32 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 33 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 34 |
| 4.1. Crescimento | 34 |

| | |
|---|----|
| 4.2. Nutrientes na planta | 41 |
| 4.3. Características do solo | 48 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 53 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 53 |
| CAPÍTULO III: BIOSSÓLIDO COMO FERTILIZANTE DE PLANTIO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO..... | |
| RESUMO | 63 |
| ABSTRACT | 63 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 64 |
| 2. OBJETIVOS | 64 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 64 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 67 |
| 4.1. Crescimento ao longo do tempo | 67 |
| 4.2. Crescimento aos 12 meses | 68 |
| 4.3. Concentração de nutrientes em diferentes camadas do solo..... | 72 |
| 4.4. Concentração de metais pesados em diferentes camadas do solo..... | 77 |
| 5. CONCLUSÃO..... | 81 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 81 |

1. INTRODUÇÃO GERAL

Com a degradação ambiental há necessidade da restauração florestal. Segundo o Pacto para a Restauração da Mata Atlântica existem em torno de 958.000 hectares necessitando de plantios florestais para fim de recuperação (RODRIGUES et al., 2009). Para atingir este objetivo precisa-se de mudas de qualidade e técnicas silviculturais apropriadas para o sucesso destes reflorestamentos.

Mudas florestais produzidas em tubetes possuem vantagem sobre as de saco plástico, visto que evita o enovelamento do sistema radicular e facilita o manuseio tanto no viveiro como no transporte e distribuição em campo (CARNEIRO, 1995). Do mesmo modo, o volume do tubete é de grande importância, visto que influencia a disponibilidade de nutrientes e água. Porém, deve-se atentar para que este volume não seja maior que o necessário para a formação de uma muda de qualidade, pois maiores volumes acarretam em maiores custos de produção, transporte e distribuição no momento do plantio (GOMES et al., 1990).

No mesmo grau de importância dos tubetes, encontra-se o substrato utilizado para a formação das mudas. Diversos trabalhos mostram a utilização de resíduos para a formação de mudas florestais (CALDEIRA et al., 2008; CALDEIRA et al., 2012a; CALDEIRA et al., 2012b; TRAZZI et al., 2012; GARCIA et al., 2012; GOMES et al., 2013), levando a uma melhor destinação para tais resíduos e ainda diminui os riscos da contaminação humana, por se tratar de um sistema de produção que não tem o consumo direto do homem, além de substituir os dejetos bovinos utilizados tradicionalmente (CALDEIRA et al., 2000) e que se tornam mais raros nas proximidades dos grandes centros.

Dentre estes resíduos, destaca-se o lodo de esgoto, que depois de estabilizado é chamado de biossólido, subproduto oriundo de Estações de Tratamento de Esgotos (ETE's), de composição variável, rico em matéria orgânica e nutriente, tornando-se um produto com características desejáveis para o setor agrícola e florestal (GOMES et al., 2013; ABREU, 2014). Além disso, com o aumento da população nos centros urbanos a produção deste resíduo se torna cada vez maior, os quais, muitas vezes, são acumulados no ambiente sem o adequado tratamento, ou destinados a aterros sanitários ou depositado a céu aberto, tornando-se uma preocupação de contaminação ambiental como humana (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

Outra forma de destinação do biossólido é o uso como fertilizante em plantações agrícolas ou povoamentos florestais. Este resíduo contém matéria orgânica, macro e micronutrientes que exercem papel fundamental na manutenção da fertilidade do solo, o que pode aumentar o conteúdo de húmus, que melhora a capacidade de armazenamento e de infiltração da água no solo, aumentando a resistência dos agregados e reduzindo a erosão (CALDEIRA et al., 2012b). É importante que a aplicação desse lodo no solo seja planejada, para que não ocorram problemas posteriores, visto que podem provocar alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, além da possibilidade de contaminação e eutrofização do lençol freático e cursos hídricos por agentes patogênicos (SOCCOL et al., 2010) metais pesados e excesso de nutrientes, através dos processos de lixiviação e percolação (MACEDO et al., 2006).

Experimentos com biossólido mostrando ganhos em crescimento e qualidade de mudas foi constatado em diversos trabalhos (CALDEIRA et al., 2008; CALDEIRA et al., 2012a; CALDEIRA et al., 2012b; GARCIA et al., 2012; TRAZZI et al., 2012; GOMES et al., 2013). Aliar o potencial que o biossólido possui como substrato para a produção de mudas e fornecimento de nutrientes, utilizando como adubação, é fundamental, pois reduzirá desde o espaço e despesas no processo de produção no

viveiro, até a distribuição das mudas (GOMES et al., 1990; CARNEIRO, 1995; LISBOA et al., 2012) e economia de fertilizantes (LIMA et al., 2011). Entretanto, conhecer se estes ganhos podem favorecer a praticidade, reduzindo o volume de substrato na produção de mudas ou encontrar dose ideal de biofósforo na adubação é de grande importância, visto que facilitará o manejo alcançando uma menor relação custo / benefício.

2. OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade de mudas florestais de espécies da Mata Atlântica em diferentes volumes de tubetes e o uso de biofósforo como adubação de plantio na restauração florestal.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

I. Avaliar os diferentes volumes de tubete na produção de mudas florestais nativas da Mata Atlântica, utilizando biofósforo como substrato.

II. Avaliar o crescimento inicial de espécies nativas sob o efeito do biofósforo como adubo de plantio em comparação com adubação química, em reflorestamento para restauração florestal.

III. Avaliar as diferentes doses de biofósforo para a adubação de plantio em restauração florestal.

IV. Avaliar o crescimento de *Ceiba speciosa* (A. St.- Hil.) Ravenna e a quantidade de nutrientes lixiviados utilizando biofósforo como adubação de plantio.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Tubetes na produção de mudas florestais

A produção de mudas em recipientes é o sistema mais utilizado, principalmente por permitir a melhor qualidade, devido ao melhor controle da nutrição e à proteção das raízes contra os danos mecânicos e a desidratação, além de propiciar o manejo mais adequado no viveiro, transporte, distribuição e no plantio (GOMES et al., 2003), apresentando ainda vantagens como o prolongamento do período de plantio, promovendo maiores índices de sobrevivência e de crescimento (BARNETT; MCGILVRAY, 2000).

O tipo de recipiente e suas dimensões exercem influências sobre a qualidade e os custos de produção de mudas de espécies florestais (CARNEIRO, 1995). Os volumes dos recipientes influenciam a disponibilidade de nutrientes e água, devendo ser ressaltado que o maior volume acarreta maiores custos de produção, transporte, distribuição e de plantio. No entanto, em geral a altura da embalagem é mais importante do que o seu diâmetro para o crescimento de mudas de várias espécies florestais (GOMES et al., 1990).

A restrição radicular, imposta pelo reduzido volume e pelas paredes dos recipientes, reduz alguns parâmetros importantes da qualidade de mudas, como altura, área foliar e produção de biomassa (LISBOA et al., 2012).

Em geral, pode-se afirmar que, apesar dos vários modelos de recipientes encontrados no mercado, os sacos plásticos e os tubetes são os mais utilizados. Os sacos plásticos principalmente nos pequenos e médios viveiros, em virtude de sua maior disponibilidade e menor preço e os tubetes nos viveiros de maior porte, devido a sua possibilidade de automação da produção (SEA-RJ, 2010; SMA-SP, 2011).

O tubete de polietileno rígido surgiu como uma tendência de substituição dos recipientes de saco plástico, pois seu uso apresenta vantagens técnicas como: menor diâmetro, ocupando menor área no viveiro; menor peso; facilidade das operações de produção de mudas; possibilitar a formação do sistema radicular sem enovelamento e crescimento inicial mais rápido logo após o plantio, e ainda, facilidades operacionais como: trabalha-se em qualquer condição climática, o que permite cumprir o cronograma de produção de mudas, além de redução dos custos de transporte das mudas para o campo, distribuição e plantio nas covas (GOMES et al, 2003).

Por outro lado, os tubetes também apresentam desvantagens como o alto custo de investimento inicial, necessitam de maiores cuidados como maior frequência de irrigação, adubações de cobertura, além de apresentar menor altura de expedição, que necessita de uma maior atenção em relação à competição com plantas espontâneas em campo (JOSÉ et al., 2005). Isso deve ser levado em consideração, pois em locais com condições mais propícias a implantação, o recipiente não interfere na sobrevivência, porém em locais com condições adversas, o recipiente exerce relação direta com a sobrevivência em campo (SOUTH et al., 2004).

Uma das principais características técnicas do tubete é o seu design com frisos internos longitudinais e equidistante em número de 4, 6 ou 8 que direcionam as raízes no sentido vertical, em direção ao fundo do recipiente onde existe um orifício para a drenagem da umidade e saída das raízes, o que promove a sua poda por oxidação causada pelo ar (SANTOS et al., 2000). A configuração deste tipo de recipiente evita o crescimento de raízes em forma espiral evitando enovelamento e, por consequência, estrangulamento radicular (CARNEIRO, 1995).

Após a escolha do recipiente é de igual importância a escolha certa do volume do recipiente à ser utilizado. Malavasi e Malavasi (2006), estudando o efeito do tubete no crescimento de caroba e louro-pardo no viveiro e no campo, utilizaram tubetes de 55, 120, 180 e 300 cm³ de capacidade volumétrica, preenchidos com substrato comercial. Os autores verificaram que os recipientes de menor volume (55 e 120 cm³) causaram redução no desenvolvimento das mudas no viveiro, entretanto, no campo, aos 180 dias após o transplante, as plantas provenientes de tubetes de 120, 180 e 300 cm³ apresentaram desenvolvimento semelhante, sendo recomendada a utilização de tubetes de 120 cm³ devido à economia de substratos.

O recipiente e o volume do mesmo influenciam não apenas durante a fase de produção de mudas, mas também após a implantação das mesmas no campo (MEXAL et al., 2002).

Neves et al. (2005), com o objetivo de caracterizar a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra aos três anos após o plantio, em função da combinação de oito tipos de recipientes e seis misturas de substratos utilizados por ocasião da produção das mudas, observaram que o desenvolvimento e a arquitetura das raízes no campo foram afetados pelo recipiente, mas não pelo substrato utilizado na fase de viveiro, apresentando arquitetura mais desenvolvida nos recipientes de maior volume.

Por outro lado, existem autores que acreditam que as mudas produzidas em tubetes de pequeno volume, em condições de restrição radicular, podem passar por um processo de aclimação, desenvolvendo mecanismos de tolerância às condições de estresse no campo, contribuindo para o aumento no desempenho pós-plantio (LAMHAMEDI et al., 1998).

O apropriado dimensionamento do volume, altura e diâmetro do recipiente são variáveis que podem variar ainda conforme a espécie. Lisboa et al. (2012), ao avaliar a

qualidade de mudas de cedro australiano e guanandi, produzidas em tubetes de diferentes dimensões (115 cm³, 180 cm³ e 280 cm³), concluíram que o tubete de 280 cm³ foi o mais adequado para a produção de mudas de cedro australiano, porém para a o guanandi as mudas de melhor qualidade, até a idade avaliada, foram às produzidas no tubete de 180 cm³.

No mesmo grau de importância dos recipientes, encontra-se o substrato utilizado, sendo que cada tipo de recipiente irá requerer um substrato específico para o seu sistema de produção.

3.2. Biossólido na produção de mudas

Independentemente da finalidade à que se destinará a muda, seja ela para a composição de plantios comerciais, recuperação de áreas degradadas ou outros fins, a adoção de padrões técnicos e procedimentos adequados na composição dos substratos poderão melhorar a qualidade das mudas produzidas resultando em plantas mais uniformes, vigorosas, de maior pegamento e, portanto, mais resistentes às adversidades ambientais após o plantio (CALDEIRA et al., 2012b).

O tratamento do esgoto doméstico gera um resíduo denominado lodo de esgoto (biossólido), que, além de conter alto teor de matéria orgânica, possui quantidades apreciáveis de nutrientes, principalmente N e P, podendo melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e substratos, ou ser utilizado como fonte de nutrientes para o crescimento das plantas (BOVI et al., 2006). Dessa forma, a utilização do biossólido como substrato possui um grande potencial para a formação de mudas de qualidade e garantia do sucesso dos povoamentos florestais.

Gomes et al. (2013), estudando diferentes proporções de biossólido, substrato comercial e terra de subsolo, na produção de mudas de *Tectona grandis* em tubetes de 120 cm³, identificaram que o uso deste resíduo é viável e promissor, sendo a proporção de 60% de biossólido, 30% de substrato comercial e 10% de subsolo, o tratamento que ofereceu o maior crescimento para as mudas. Barony (2011), também verificou que o biossólido, nas proporções de 50% ou 75%, favoreceu a melhor qualidade em mudas de *Eucalyptus grandis*. Entretanto, informa que, para a utilização deste substrato, deve-se ter bastante cuidado, pois implica no aumento dos riscos a saúde dos operadores, pela ingestão acidental ou infecção por microrganismos.

Trazzi et al. (2012), em estudo com mudas de *Murraya paniculata*, produzidas em sacolas plásticas 12x18 cm, relatam que, conforme aumentou a percentagem de biossólido no substrato, maiores foram os crescimentos em altura e diâmetro, recomendando proporções acima de 60%.

Caldeira et al. (2008), avaliando as diferentes variáveis de crescimento em mudas de *Schinus terebinthifolius* submetidas a diferentes proporções de composto orgânico no substrato, mostraram que conforme aumento os teores do composto, melhor foi a qualidade de muda. Do mesmo modo, Augusto et al. (2003), estudando *Croton floribundus* e *Copaifera langsdorfi*, mostraram que a fertirrigação com água de esgoto domiciliar favoreceu o crescimento do sistema radicular nas mudas.

3.3. Adubação de campo com o biossólido

A disposição final do biossólido é uma etapa problemática no processo de uma estação de tratamento de esgoto, pois seu planejamento tem sido negligenciado e apresenta um custo que pode alcançar até 50% do orçamento operacional de um sistema de tratamento (BETTIOL; CAMARGO, 2006). As alternativas mais usuais para o

aproveitamento ou disposição final do lodo de esgoto são: disposição em aterros sanitários, reuso industrial, incineração e uso agrícola e florestal (BETTIOL; CAMARGO, 2006).

Dentre essas disposições se destaca o uso agrícola e florestal, visto que, a produção para suprir as necessidades humanas e satisfazer o elevado consumo de alimentos e produtos nos centros urbanos, resultou em uma grande transferência de nutrientes e matéria orgânica dos solos agrícolas para os resíduos urbanos. O retorno do biossólido para estas áreas seria importante não só para equilibrar parte deste ciclo, como também reduziria as pressões sobre as fontes naturais de nutrientes utilizadas na produção dos fertilizantes químicos (FARIA, 2007).

Embora a utilização agrícola do biossólido seja uma das alternativas mais viáveis para a disposição deste resíduo, a presença de metais pesados, organismos patogênicos ou alguns contaminantes orgânicos, pode limitar sua aplicação, principalmente em virtude do risco de contaminação dos solos e transferência ao homem pela adsorção e translocação desses elementos nas plantas (BERTON; NOGUEIRA, 2010). Deste modo, a aplicação do biossólido como alternativa de adubação orgânica em sistemas florestais, tanto em plantações comerciais como em recuperação de áreas degradadas, reduz os riscos de contaminação, por não ser uma atividade que envolve produtos para o consumo direto do homem (GARCIA et al., 2012).

Ferraz (2009), em estudo com *Eucalyptus grandis* em Itatinga – SP, constatou que a adubação com 15 Mg ha^{-1} de biossólido propiciou um incremento de madeira na ordem de 65% superior em relação ao tratamento em que não recebeu nenhuma adubação, apresentando resultados similares ao observado no tratamento com a adubação mineral. Outro fato observado por este autor foi que a adição do biossólido estimulou em 75% a produção de folheto pelos eucaliptos, e por consequência, maior acúmulo de serapilheira no piso florestal, favorecendo a ciclagem de nutrientes e proteção do solo.

Lira et al. (2008), também estudando *Eucalyptus grandis*, verificaram que a aplicação de 10 Mg ha^{-1} de biossólido foi semelhante a adubação mineral completa. Os autores também mencionam que ocorreu um aumento na biomassa e nos teores de C e N, ressaltando que o efeito do resíduo sobre o desenvolvimento das árvores é mais importante para fornecer entradas de material orgânico no sistema do que sua própria aplicação. Paiva et al. (2009), estudando diferentes doses de biossólido em casa de vegetação com espécies nativas da Mata Atlântica (aroeira, cabreúva, pau-viola e pata-de-vaca), verificaram que, somente quando se fez a maior dosagem (20 g dm^{-3} de solo) é que foi observado um crescimento semelhante com a adubação mineral.

As características da dinâmica de nutrientes quando aplicada a adubação com o biossólido foi constatado por Silva et al. (2008b), em que, avaliando os efeitos em povoamento de *Eucalyptus grandis*, verificaram que a relação nutricional nas plantas teve aumento para P, Ca e Zn nas folhas, e decréscimo nos teores de Mn. Guedes et al. (2006) relatam que o biossólido altera o desenvolvimento e o estado nutricional das plantas, bem como os padrões de reciclagem dos nutrientes.

Andrade e Mattiazzo (2000) verificaram que a adubação com o biossólido nas entre linhas de um povoamento com *Eucalyptus grandis*, não provocou a movimentação de nitratos e nem dos metais Cd, Cr, Cu, Ni e Zn, além de favorecer um aumento linear de N nas folhas das plantas a um ano de idade, evidenciando o efeito do biossólido sobre a fitodisponibilidade de N no solo.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, C.A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados, no solo e nas árvores após aplicações do bioestabilizado (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 38, p. 59-72, 2000.

AUGUSTO, D. C. C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V. L.; ROSSEAU, G. X. Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Croton floribundus* Spreng. (capixingui) e *Copaifera langsdorffii* Desf. (copaíba). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 3, p. 335-342. 2003.

BARNETT, J. P.; MCGILVRAY. Growing Longleaf pinus seedlings in containers. **Native Plants Journal**. Los Angeles, n.1, v.1, p.54-58, 2000.

BARONY, F. J. **Bioestabilizado: produção, efeitos no crescimento de mudas de eucalipto e avaliação de risco à saúde humana**. 2011. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto - Avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, p. 31-50.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: descrição do estudo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 17-24.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; COSTA, E. A. D.; BERTON, R. S.; SPIERING, S. H.; VEGA, F. V. A.; CEMBRANELLI, M. A. R.; MALDONADO, C. A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 31, p.153-166, 2006.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Campos/UENF. UFPR/FUPEF, 1995. 451p.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Bioestabilizado como substrato para a produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012b.

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K. C. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira vermelha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 27-33, 2008.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M. TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de bioestabilizado na composição de substratos para produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 90, n. 93, p. 015-022, 2012a.

CALDEIRA, M. V. W.; SCHUMACHER, M. V.; TEDESCO, N. Crescimento de mudas de *Acacia mearnsii* em função de diferentes doses de vermicomposto. **Scientia Forestalis**, n. 57, p. 161-170, 2000.

FARIA, L. C. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica.** 2007. 106f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERRAZ, A. V. **Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de *Eucalyptus grandis*, adubados com lodo de esgoto produzidos em diferentes estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo.** 2009. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GARCIA, G. O.; GONÇALVES, I. Z.; MADALÃO, J. C.; NAZÁRIO, A. A.; REIS, E. F. Crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 41, n.1, p. 87-94, 2012.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; BORGES, R. C. G.; FREITAS, S. C. Influência do tamanho da embalagem plástica na produção de mudas de ipê (*Tabebuia serratifolia*) de copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e de angico-vermelho (*Piptadenia peregrina*). **Revista Árvore**, Viçosa, v.14, n.1, p. 26-34, 1990.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, Lavras, v. 19, n.1, p. 123-131, 2013.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição de eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 267-280, 2006.

JOSE, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 12, p. 187-196, 2005.

LAMHAMED, M. S.; BERNIER, P. Y.; HÉBERT, C.; JOBIDON, R. Physiological and growth responses of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings outplanted with and without vegetation control. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, n. 1/3, p. 13-23, 1998.

LIMA, M. F.; MATTOS, C. N.; VIEIRA, P. L. C.; ALMEIDA, L. F. Geração de lodo de esgoto e seu potencial como fonte de matéria orgânica para a agricultura. In: COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o Espírito Santo.** 2011, Vitória: INCAPER, 2011, p. 31-36.

- LIRA, A. C. S.; GUEDES, M. C.; SCHALCH, V. Reciclagem de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 207-216, 2008. Artigo técnico.
- LISBOA, A. C.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. O.; CASTRO, D. N.; ABREU, A. H. M. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista árvore**, Viçosa, v.36, n.4, p.603-609, 2012.
- MACEDO, J. R.; SOUZA, M. D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Atributos físicos e hídricos em solo tratado com lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 193-206.
- MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito do volume do tubete no crescimento inicial de plântulas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud e *Jacaranda micranta* Cham. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.16, n.1, p.11-16, 2006.
- MEXAL, J. G.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM; MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1990, Oregon. **Proceedings**. Oregon: USDA, 1990. p.17-37.
- NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 897-905, 2005.
- PAIVA, A. V.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; FERRAZ, A. V. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n.84, p. 499-511, 2009.
- RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. **Pacto pela restauração da Mata Atlântica – Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. São Paulo: LERF, 2009. 259 p.
- SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. A Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.
- SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE – SEA-RJ. **Diagnostico da produção de mudas de espécies nativas no Estado do Rio de Janeiro**. 1º edição. Rio de Janeiro. 2010. 63 p.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE – SMA-SP. **Diagnóstico dos produtores de mudas florestais nativas do Estado de São Paulo**. Relatório analítico. São Paulo. 2011. 155p.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus*

grandis fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008b.

SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; PEREIRA, J. T.; CASTRO, E. A.; COSTA, A. O.; HENNING, L.; ANDREOLI, C. Organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução nº 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto – Avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, p. 83-112.

SOUTH, D. B.; HARRIS, S. W.; BARNETT, J. P.; HAINDS, M. J.; GJERSTAD, D. H. Effect of container type and seedling size on survival and early height growth of *Pinus palustris* seedlings in Alabama, U.S.A. **Forest Ecology and Management**. Amsterdam, n.204, v. 1, p. 385-398, 2005.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012.

CAPÍTULO I

VOLUME DE TUBETES E DESEMPENHO EM CAMPO DE DIFERENTES ESPÉCIES FLORESTAIS NATIVAS, UTILIZANDO BIOSSÓLIDO COMO SUBSTRATO

RESUMO

Um dos principais problemas encontrados na formação de povoamentos visando à restauração florestal é a qualidade das mudas. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes volumes de tubetes para a produção de mudas de *Ceiba speciosa*, *Pseudobombax grandiflorum*, *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa*, utilizando o bio sólido como substrato. O experimento constou da fase de produção das mudas e da avaliação do desempenho dessas no campo. Os tratamentos utilizados foram os tubetes de 55, 110, 180 e 280 cm³. A fase de produção das mudas foi instalada em delineamento inteiramente casualizado composto por quatro repetições de 12 mudas. A fase de campo também foi instalada em delineamento inteiramente casualizado. Devido ao tempo de formação das mudas, em épocas diferentes para cada espécie. O tubete de 280 cm³ foi o que proporcionou a melhor de qualidade de mudas, independente da espécie, quando se utilizou o bio sólido como substrato. Todavia, para as espécies *Pseudobombax grandiflorum*, *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa* pode-se utilizar o tubete de 180 cm³ para a formação das mudas, mantendo qualidade similar.

Palavras-chave: lodo de esgoto, qualidade de mudas e restauração florestal.

ABSTRACT

One of the main problems found in forestry stands intended for restoration is seedling quality. The goal of this research was to evaluate different tube volumes in seedling production, utilizing biosolid as the substrate, within the following species; *Ceiba speciosa*, *Pseudobombax grandiflorum*, *Dalbergia nigra* and *Lafoensia glyptocarpa*. The experiment consisted of the seedling production stage and a development evaluation stage in the field. The treatments utilized were 55, 110, 180 and 280 cm³ tubes. The seedling production phase was done under entirely randomized design composed of four replications of the 12 seedlings. The field phase was also done under entirely randomized design due to the seedling formation period, which was in different periods for each species. The 280 cm³ tube provided the best seedling quality, regardless of the species, when the biosolid was utilized as substrate. Despite this, for the species *Pseudobombax grandiflorum*, *Dalbergia nigra* and *Lafoensia glyptocarpa*, it is possible to utilize the 180 cm³ tubet for seedling formation while maintaining similar quality.

Key words: sludge sewage, seedling quality and forestry restoration.

1. INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas encontrados na formação de povoamentos visando à restauração florestal é a qualidade das mudas. Estas, juntamente com os fatores ambientais e as técnicas silviculturais, são importantes para a redução dos custos e diminuição do tempo de formação do povoamento.

A qualidade das mudas aptas para o plantio refere-se à capacidade de resistirem às condições adversas encontradas no campo e se desenvolverem produzindo árvores com crescimento desejável (CARNEIRO, 1995; PORTELA et al., 2001). Vários fatores afetam esta qualidade, dentre eles a qualidade das sementes, tipo de recipiente, substrato empregado, adubação e manejo durante o processo de produção (SANTOS et al., 2000; BLAISE et al., 2005; CUNHA et al., 2009; TRAZZI et al., 2012; CALDEIRA et al., 2013a).

O substrato é um dos fatores que exercem influência significativa no crescimento das mudas. Na escolha do substrato, deve-se observar, principalmente, as características químicas e físicas, além dos aspectos econômicos, como o baixo custo e disponibilidade de material (CARNEIRO, 1995; CALDEIRA et al., 2008; DAVIDE; SILVA, 2008).

A utilização de resíduos para este fim é uma alternativa viável, visto que, geralmente, estes são produzidos em grande quantidade e sua disponibilização gera custos para as empresas produtoras. Entre estes resíduos encontra-se o biossólido, originário do tratamento do esgoto doméstico, que, normalmente, apresenta alto teor de matéria orgânica, possui quantidades apreciáveis de nutrientes, principalmente N e P, e pode melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e substratos, e ser utilizado como fonte de nutrientes para o crescimento das plantas (BETTIOL; CAMARGO, 2006; BOVI et al., 2006). Devido a estas características, diversos estudos (PADOVANI, 2006; CALDEIRA et al., 2013b; SANTOS, 2013; ABREU, 2014) recomendam o biossólido como substrato para produção de mudas florestais nativas.

No mesmo grau de importância que o substrato empregado, o tipo e características do recipiente a se utilizar também irão influenciar na qualidade das mudas. O volume do recipiente tem relação direta na quantidade de substrato a ser utilizado, no espaço que irá ocupar no viveiro, na mão de obra, no custo final da muda, no transporte e rendimento durante o plantio, além da quantidade de insumos utilizados (GOMES et al., 1990; CARNEIRO, 1995; GOMES et al., 2003; NEVES et al., 2005; VIANA et al., 2008; LISBOA et al., 2012).

Vários estudos, com diferentes espécies para a restauração florestal, mostram que os recipientes maiores, normalmente, foram os que proporcionaram melhor qualidade as mudas (JESUS et al., 1991; TEIXEIRA et al., 2005; VIANA et al., 2008; BONFIM et al., 2009; KELLER et al., 2009). Porém, associar o grande poder nutricional do biossólido com recipientes de menores dimensões poderá ser uma forma de reduzir os custos na fase de produção, transporte e distribuição em campo, formando mudas de qualidade, com menor custo e melhor rendimento na operação de plantio, contribuindo para diminuir os custos dos reflorestamentos destinados à restauração florestal.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes volumes de tubetes na produção de mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.- Hil.) Ravenna (paineira), *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns (embiruçu), *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth.

(jacarandá caviúna) e *Lafoensia glyptocarpa* Koehne (mirindiba rosa), utilizando o bioossólido como substrato.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho consta de duas fases, sendo a primeira a produção das mudas realizada no viveiro florestal, do Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no período de junho a dezembro de 2013. A segunda fase consistiu no plantio, condução e avaliação das mudas oriundas dos diferentes volumes de tubetes, em área de reflorestamento da Pequena Central Hidrelétrica (PCH) Santa Rosa S/A, município de Bom Jardim – RJ, de outubro de 2013 a maio de 2014.

As espécies utilizadas foram *Ceiba speciosa* (A. St.- Hil.) Ravenna (paineira), *Pseudobombax grandiflorum* (Cav.) A. Robyns (embiruçu), *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth. (jacarandá caviúna) e *Lafoensia glyptocarpa* Koehne (mirindiba rosa).

3.1. Fase de viveiro

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por quatro tratamentos, com quatro repetições de 12 plantas. O substrato foi composto, em proporção volumétrica, por 80% de bioossólido e 20% de fibra de coco. A fibra de coco, por ser material inerte, foi utilizada para proporcionar maior agregação no substrato. O bioossólido utilizado foi caracterizado por Abreu (2014), cujas características estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química do bioossólido utilizado como componente do substrato para a produção de mudas florestais da Mata Atlântica

| Substância | Unidade | Concentração |
|----------------------|-----------------------|--------------|
| Carbono orgânico | mg kg ⁻¹ | 2.870 |
| Fósforo total | mg kg ⁻¹ | 6.161 |
| Nitrogênio Kjeldahl | mg kg ⁻¹ | 33.497 |
| Nitrogênio amoniacal | mg kg ⁻¹ | 208 |
| Nitrito | mg N kg ⁻¹ | 17,2 |
| Nitrato | mg N kg ⁻¹ | 5.318 |
| Nitrogênio total | mg kg ⁻¹ | 38.832 |
| Potássio total | mg kg ⁻¹ | 4.995 |
| Sódio total | mg kg ⁻¹ | 1.591 |
| Enxofre total | mg kg ⁻¹ | 11.933 |
| Cálcio total | mg kg ⁻¹ | 2.361 |
| Magnésio total | mg kg ⁻¹ | 145 |
| Sólidos totais | % | 74,29 |
| Sólidos voláteis | % | 24,29 |
| Umidade | % | 25,71 |
| pH em água (1:10) | - | 5,45 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N. Fonte: ABREU (2015).

Os tratamentos consistiram em tubetes de 55 cm³, 110 cm³, 180 cm³ e 280 cm³ de volume, cujas características estão na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos recipientes utilizados para a produção de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica utilizando o bioestólido como substrato

| Volume do Tubete | Comprimento ----- cm ----- | Diâmetro | Número de estrias | Quantidade por bandeja |
|---------------------|-------------------------------|----------|----------------------|---------------------------|
| 55 cm ³ | 12,0 | 3,5 | 6,0 | 182 |
| 110 cm ³ | 13,2 | 3,7 | 8,0 | 96 |
| 180 cm ³ | 13,0 | 5,2 | 8,0 | 54 |
| 280 cm ³ | 19,0 | 5,2 | 8,0 | 54 |

As sementes foram provenientes de um fragmento de Mata Atlântica do município de Além Paraíba – MG, e semeadas diretamente nos recipientes, colocando-se de 2 a 4 sementes por embalagem. Durante todo o período de produção, as mudas permaneceram em bandejas de chão e a pleno sol. Após a emergência das plântulas, foi realizado desbaste, deixando sempre a planta de maior tamanho e mais central. A irrigação das mudas foi realizada diariamente, conforme a necessidade visual de água, com base na experiência da equipe envolvida.

Quando as mudas estavam com altura média em torno de 15 cm foi realizado reespaçamento com alternância dos tubetes das células das bandejas, sendo que as mudas ocuparam 50% das células.

Para a avaliação dos efeitos dos diferentes recipientes, mensurou-se a altura (H) e diâmetro de coleto (DC) das mudas, com régua graduada e paquímetro, respectivamente. Esta atividade foi repetida a cada 21 dias, para o acompanhamento do crescimento, ao longo do tempo. A idade de início das mensurações variou, conforme o crescimento inicial de cada espécie estudada e visando não provocar danos as plantas.

Quando totalizaram quatro medições, as quatro mudas mais próximas da média de cada repetição foram selecionadas para a determinação da matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca do sistema radicular (MSR) e matéria seca total (MST). As mudas selecionadas foram cortadas, separadas parte aérea do sistema radicular e acondicionadas em sacos de papel, em seguida, foram levadas para estufa a 65° C até atingir peso constante. A partir dos dados coletados, calculou-se o índice de qualidade de Dickson – IQD (DICKSON et al., 1960).

Após tabulados, com os dados das diferentes épocas de avaliação, foram construídos gráficos de crescimento, com os valores médios, em altura e diâmetro do coleto para cada espécie, em cada tratamento. Os dados da última medição, juntamente com os valores de peso seco (MSPA e MSR) e IQD foram submetidos à análise de variância, e quando observadas diferenças significativas ao teste de Tukey (P > 0,95).

3.2. Fase de campo

A fase de campo foi desenvolvida em área de reflorestamento da PCH Santa Rosa S/A, localizada no município de Bom Jardim – RJ. O experimento foi implantado em área anteriormente utilizada por pastagem intensiva, de espécies pertencentes ao gênero *Urochloa* spp. O solo foi classificado, com abertura de perfil até 1,2 metros e de maneira expedita em LATOSSOLO VERMELHO AMARELO e a análise da camada de 0-25 cm encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3: Análise química do solo (camada de 0-25 cm) em área experimental de reflorestamento da PCH Santa Rosa S.A, Município de Bom Jardim, RJ

| pH | P | K ¹⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Corg |
|------------------|---------------------------------|-----------------|--|------------------|------------------|------|------------------------|
| H ₂ O | ----- mg dm ⁻³ ----- | | ----- mmol _c dm ⁻³ ----- | | | | - g dm ⁻³ - |
| 4,9 | 0,7 | 18 | 2,0 | 1,0 | 10,0 | 54,0 | 15 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:25; P e K: extrator Mehlich-1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

Devido à velocidade de crescimento das espécies, o tempo de produção das mudas foi distinto, assim o plantio ocorreu em datas diferentes. As mudas de paineira foram plantadas em 03 de outubro, as de embiruçu em 20 de novembro e as de jacarandá caviúna e de mirindiba rosa em 19 de dezembro, todas no ano de 2013.

Como preparo do solo, as covas foram marcadas em curvas de nível, obedecendo ao espaçamento de 2,5 x 1,8 m. Em seguida, foi aplicado herbicida à base de glyphosate em área total (dosagem de 4,0 L ha⁻¹). Após aproximadamente 20 dias, as covas foram abertas com a dimensão de 30 x 30 x 30 cm. No dia do plantio foram adubadas com 210 g cova⁻¹ de superfosfato simples. Cada espécie foi considerada como um experimento, sendo utilizadas 20 mudas de altura e diâmetro mais próximos da média da última avaliação realizada no viveiro. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo que cada muda corresponde a uma repetição daquele tratamento.

Os tratos culturais envolveram controle das formigas cortadeiras (antes, durante e até cinco meses após plantio) e controle das plantas daninhas, com coroamento e roçada em janeiro, março e maio de 2014, de modo a manter a área sempre limpa e minimizar os efeitos da competição com outras plantas.

Com base em dados da estação meteorológica do Município de Cordeiro, RJ (INMET, 2014), estação mais próxima da área experimental, na Figura 1 são apresentadas os valores de precipitação total e médios de temperatura máxima quinzenal do período do experimento. O plantio das mudas de paineira foi realizado no início da quinzena 1, as de embiruçu no início da quinzena 4 e as de jacarandá caviúna e de mirindiba rosa no início da quinzena 6, todas no ano de 2013.

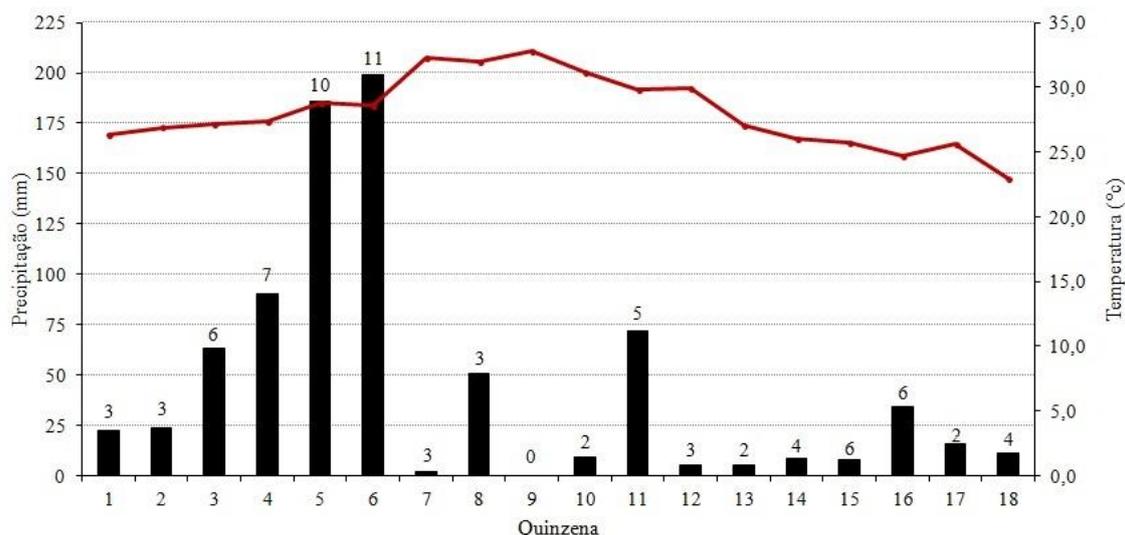


Figura 1: Precipitação total (barras) e temperatura média (linha), por quinzena, de outubro de 2013 a agosto de 2014. Fonte: INMET, 2014. Números sobre as barras indicam número de dias com precipitação na quinzena.

Para cada espécie, a fim de comparar o comportamento no campo, aos seis meses após o plantio avaliou-se a sobrevivência e o crescimento em altura e em diâmetro ao nível do solo.

Os dados de crescimento foram submetidos à análise de variância e constatando diferenças significativas, ao teste de Tukey ($P > 0,95$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fase de viveiro

Observa-se que, de maneira geral, houve tendência de maior crescimento das mudas nos tubetes de 280 cm³ e menor crescimento nos tubetes de 55 cm³ (Figura 2). Tal fato é confirmado com as médias da última medição, onde foram realizadas as análises estatísticas, em que, para as quatro espécies, as mudas dos tubetes de maior volume apresentaram altura e diâmetro do coleto significativamente superiores e as produzidas em 55 cm³ médias inferiores.

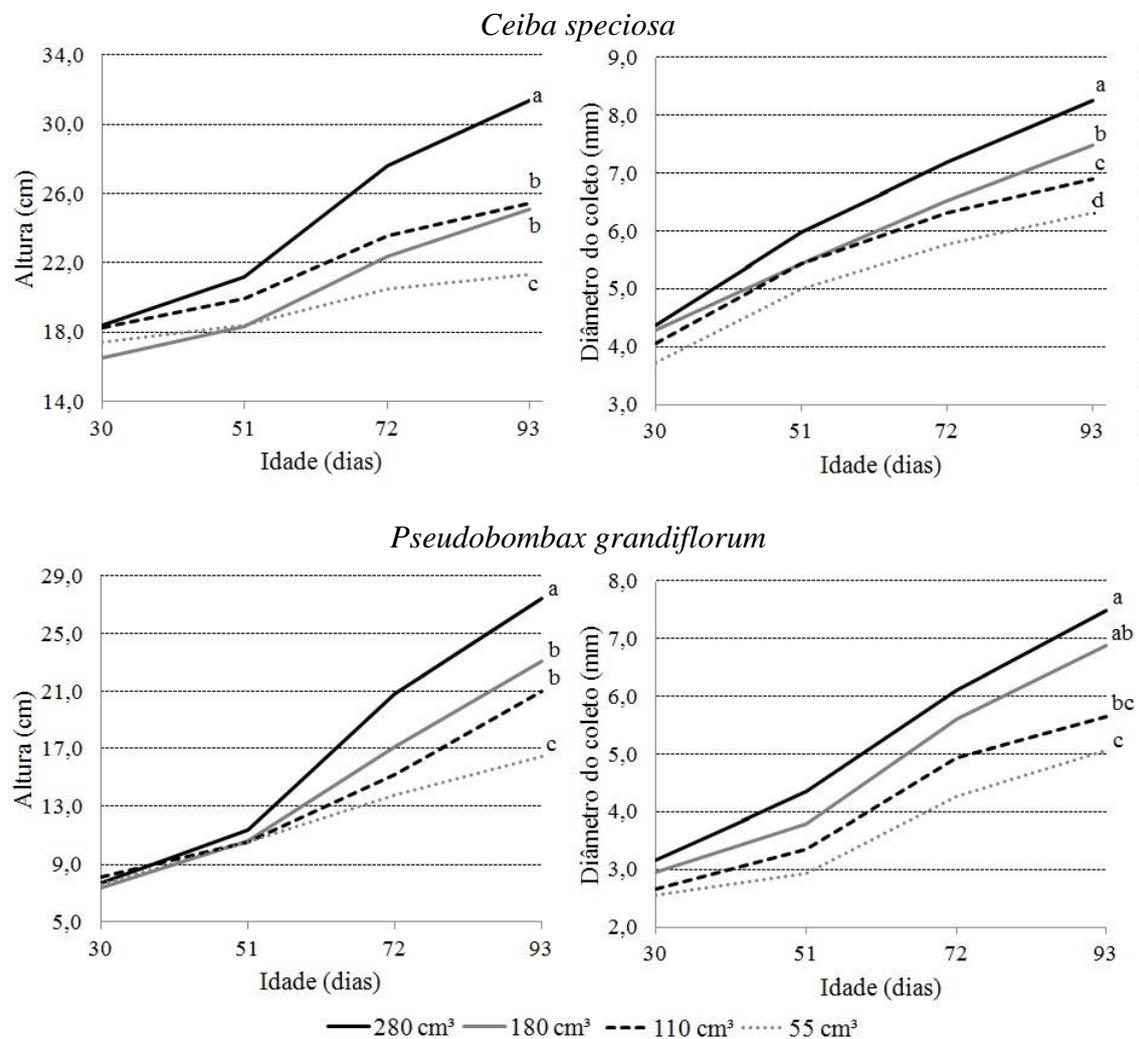


Figura 2: Crescimento de quatro espécies florestais da Mata Atlântica ao longo do tempo, em quatro volumes de tubetes. Na última medição, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Tukey ($P < 0,05$).

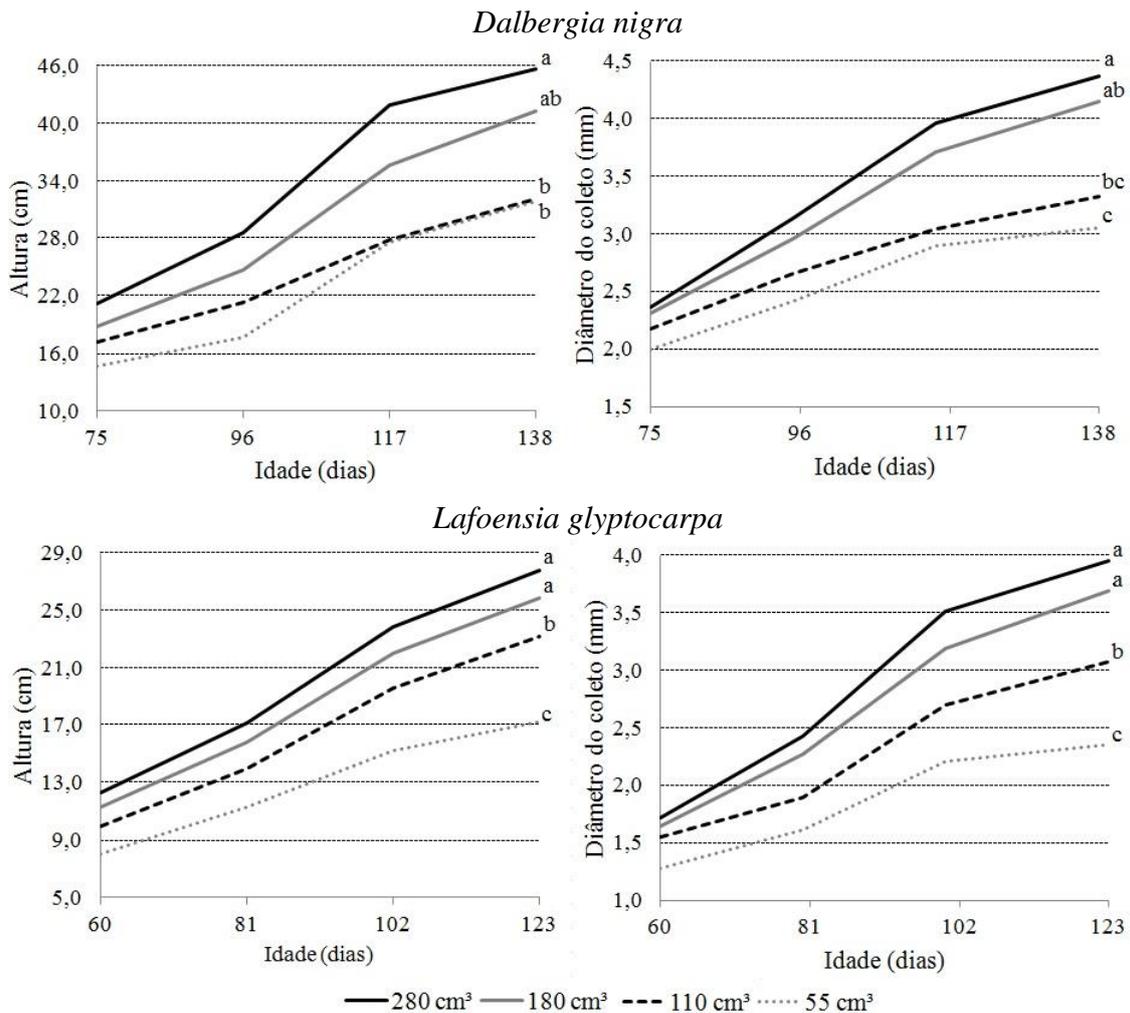


Figura 2: Crescimento de quatro espécies florestais da Mata Atlântica ao longo do tempo, em quatro volumes de tubetes. Na última medição, médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente ao teste de Tukey ($P > 0,95$).

Este comportamento provavelmente ocorreu devido ao maior volume de substrato e, com isso, maior disponibilidade de nutrientes e de matéria orgânica, evidenciado pelo crescimento intermediário nos tubetes de 180 e 110 cm³. O biossólido utilizado apresenta valores de nutrientes relativamente elevados (Tabela 1) e, segundo Gonçalves et al., (1995), substratos com estas características são de fundamental importância para o crescimento de espécies florestais, em que mudas produzidas em substratos com maior quantidade de nutrientes, normamente, também terão maior acúmulo nutricional nos componentes das plantas (GONÇALVES et al, 2012; ABREU, 2014), e assim com maiores chances de sobrevivência após o plantio no campo.

Na primeira medição, independente da espécie, observa-se que praticamente não existe tendência de diferenças entre os tratamentos. Já na segunda mensuração, as tendências de diferenças em altura e diâmetro do coleto são mais perceptíveis. No início, provavelmente, todos os recipientes continham substrato suficiente para suprir a demanda de nutrientes e espaço para o crescimento inicial do sistema radicular e da parte aérea. Porém, com o aumento da idade e conforme o crescimento das mudas, os tubetes menores ficaram limitados para manter o ritmo de crescimento igual aos tubetes de maiores dimensões, acarretando em mudas com diâmetro do coleto e altura inferiores, o que pode ter ocasionado os resultados encontrados.

É possível inferir sobre o tempo de formação das mudas, sendo influenciado pelo volume do tubete (Figura 2), onde, as produzidas nos tubetes de maiores dimensões obtiveram crescimento mais acelerado, necessitando de menor tempo para a formação da muda. Desse modo, desde que passada pelo processo de rustificação, estes resultados demonstram que existe a possibilidade de diminuição dos custos de formação de mudas para o viveirista, visto que, Lisboa et al. (2012) explicam que a restrição radicular, imposta pelo reduzido volume e pelas paredes dos recipientes menores reduzem alguns parâmetros importantes da qualidade das mudas, como altura e área foliar, o que reduzirá o crescimento e a produção de biomassa, implicando em aumento do número de intervenções no ciclo de produção (CUNHA et al., 2005; VIANA et al., 2008).

Jesus et al. (1991) também mostraram que as dimensões do recipiente e o tipo de substrato utilizado influenciam no crescimento, possivelmente, pelo fato desses elementos estarem diretamente relacionados com a disponibilidade de espaço físico e aporte de nutrientes para as plantas.

Pelos valores das últimas medições, as mudas produzidas nos tubetes de 280 e 180 cm³ ainda estão em pleno crescimento, tanto em altura como em diâmetro, enquanto que nos menores recipientes, principalmente nos de 55 cm³, já se observa uma tendência de estabilização, evidenciando a falta de espaço e provavelmente de nutrientes (Figura 2). Um dos maiores problemas encontrados nos viveiros florestais de espécies nativas é o fato da muda ter que esperar as melhores épocas de plantio, acarretando em maior tempo de saída (SEA, 2010), o que pode provocar problemas no sistema radicular pela falta de espaço e nutrientes, como a mumificação de raízes (LAMHAMEDI et al., 1998).

Apesar do tubete de 55 cm³ abranger menor espaço no viveiro, para a produção de mudas neste recipiente a necessidade de intervenções será constante, pois o volume de substrato contido não suprirá as demandas nutricionais da planta em comparação aos tubetes maiores, mesmo quando se utiliza substratos com alta percentagem de bio-sólido, que é rico em nutrientes (Tabela 1), sendo necessário a aplicação de adubações de cobertura. Abreu (2014) indicou o uso do bio-sólido em proporção superior a 80% como componente de produção de mudas das espécies *Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Handroanthus heptaphyllus* em tubetes de 280 cm³. Santos (2013) também indicou a mesma proporção para mudas de três espécies produzidas em sacos plásticos.

No presente trabalho, os tubetes de 55 cm³ não são indicados para produzir mudas de qualidade das quatro espécies estudadas. É importante ressaltar sobre a qualidade das mudas, pois o melhor indicativo é a taxa de sobrevivência e o crescimento inicial no campo (CARNEIRO, 1995). Isto indica que, na região sudeste do Brasil, mudas produzidas nestas embalagens ficarão com grande dependência das condições ambientais (precipitação, temperatura máxima e insolação diária), características do solo (química e física) e declividade do terreno (relacionado à capacidade de armazenamento do solo), necessitando de melhores condições para o crescimento satisfatório.

A *Ceiba speciosa* respondeu positivamente ao tamanho dos recipientes, ou seja, quanto maior o volume do recipiente, maior foi o resultado das variáveis estudadas. Pela Figura 2 é possível inferir que o crescimento em altura das mudas de paineira, nos tubetes de menor volume (55 cm³), ocorre uma estabilização em aproximadamente 70 dias de idade, enquanto que nos outros recipientes o crescimento ainda continua em ascensão.

O crescimento apresentado pelas plantas de *Pseudobombax grandiflorum* (embiruçu) se comporta de forma diferente da *Ceiba speciosa*, sendo que, na última medição (93 dias de idade) ainda apresentava de maneira ascendente para todos os tratamentos (Figura 2). O comportamento do crescimento do embiruçu é uma característica intrínseca da espécie, onde ocorre o acúmulo de reservas no coleto e raízes, podendo ser utilizadas durante as épocas de escassez e em um longo período de tempo (CARVALHO, 2003; ZAMITH; SCARANO, 2004). Assim a estabilização do crescimento ocorrerá em idades mais avançadas.

Observa-se que na última medição do embiruçu, as plantas do tratamento 180 cm³ e 110 cm³ não diferiram estatisticamente entre si (Figura 2). Segundo Gomes et al. (2002), os valores de altura e diâmetro de coleto devem ser levados em consideração, pois são de extrema importância e de fácil mensuração, não sendo necessário a análise destrutiva da planta, existindo a possibilidade de identificar o equilíbrio entre os componentes do vegetal. Dessa forma, para esta espécie o tubete de 280 cm³ foi o melhor, mas aparentemente aconselha a utilização do tubete de 110 cm³, pelo fato da economia de substrato e espaço no viveiro (SANTOS et al. 2000), além de menor peso no transporte e na distribuição das mudas no momento de plantio (CARNEIRO, 1995; CUNHA et al., 2005).

Na formação das mudas de *Dalbergia nigra* (jacarandá caviúna) e *Lafoensia glyptocarpa* (mirindiba rosa) nota-se os efeitos dos volumes dos tubetes já na segunda medição (Figura 2). Segundo Carvalho (2004), o jacarandá-caviúna e a mirindiba-rosa são espécies classificadas como secundárias e normalmente apresentam crescimento relativamente lento e com tolerância a certa quantidade de sombreamento, ou seja, características de espécies de final de sucessão ecológica. Assim, o crescimento foi mais lento, necessitando que as avaliações ocorram por um maior período.

O maior tempo para a formação das mudas, e como as irrigações que ocorrem no viveiro aumentam a possibilidade de lixiviação de nutrientes, o reduzido espaço dos tubetes de 55 cm³, fizeram com que as mudas destas duas espécies apresentassem menores taxas de crescimento (Figura 2). Segundo Cunha et al. (2005) e Souza et al. (2013), espécies com ciclo de produção mais prolongado, como no caso da *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa*, necessitam de adubações constantes para acelerar o tempo de formação da muda e que não entrem na fase de rustificação fora da época esperada, com altura relativamente pequena, condição que não é desejável para o plantio no campo.

Com os dados de altura e de diâmetro do coleto da última avaliação (Figura 2), juntamente com os valores de matéria seca e índice de qualidade (Tabela 4), constata-se que, de modo geral, as mudas produzidas no tubete de 55 cm³ foram significativamente inferiores às demais. Como o substrato utilizado nos diferentes tubetes foi o mesmo e, conforme discutido anteriormente, as embalagens de maior volume possuem maior quantidade de substrato, por consequência, maior disponibilidade de nutrientes e matéria orgânica, além de menor restrição do sistema radicular, fatores que tem influência direta no crescimento das plantas (JESUS et al., 1991; LAMHAMEDI et al., 1998; CUNHA et al., 2005; VIANA et al., 2008; LISBOA et al., 2012). Dessa forma, mesmo o biossólido sendo um substrato rico, a quantidade e o espaço dos tubetes de 55 cm³ não foi capaz de suprir a demanda das espécies estudadas em comparação aos recipientes de maior volume.

Tabela 4: Médias de variáveis de crescimento de mudas de espécies florestais da Mata Atlântica produzidas em diferentes volumes de tubetes, no final da fase de viveiro

| Espécie | Volume de tubete | Parte Aérea (PA) | Raízes (PR) | IQD ¹ |
|----------------------------------|---------------------|------------------------------------|-------------|------------------|
| | | ----- g planta ⁻¹ ----- | | |
| <i>Ceiba speciosa</i> | 280 cm ³ | 19,4 a | 14,0 a | 1,6 a |
| | 180 cm ³ | 14,9 b | 10,3 b | 1,3 ab |
| | 110 cm ³ | 12,9 c | 9,4 bc | 1,1 bc |
| | 55 cm ³ | 10,8 d | 8,9 c | 1,1 c |
| <i>Pseudobombax grandiflorum</i> | 280 cm ³ | 15,3 a | 9,8 a | 1,2 a |
| | 180 cm ³ | 11,8 a | 10,1 a | 1,2 a |
| | 110 cm ³ | 6,6 b | 5,9 b | 0,6 b |
| | 55 cm ³ | 3,7 b | 3,8 b | 0,4 b |
| <i>Dalbergia nigra</i> | 280 cm ³ | 17,9 a | 11,8 a | 0,6 a |
| | 180 cm ³ | 12,8 ab | 9,5 ab | 0,5 ab |
| | 110 cm ³ | 11,2 b | 10,7 ab | 0,5 ab |
| | 55 cm ³ | 9,1 b | 7,9 b | 0,4 b |
| <i>Lafoensia glyptocarpa</i> | 280 cm ³ | 17,7 a | 15,2 a | 1,0 a |
| | 180 cm ³ | 14,8 b | 12,1 b | 0,8 ab |
| | 110 cm ³ | 11,0 c | 9,2 c | 0,6 bc |
| | 55 cm ³ | 8,7 d | 8,3 c | 0,5 c |

¹Índice de Qualidade de Dickson. Para cada espécie, médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao teste de Tukey (P > 0,95).

Comportamento de crescimento similar a este trabalho também foi encontrado por Keller et al. (2009), em estudo com *Inga marginata*, *Jacaranda puberula* e *Zeyheria tuberculosa* produzidas em substrato formado pela mistura de composto orgânico, moínha de carvão e solo argiloso na proporção 3:1:1, utilizando diferentes tipos de embalagens, onde o recipiente de menor volume foi o que proporcionou menores taxas de crescimento. Bomfim et al. (2009), em estudo com *Pterogyne nitens* produzidas em substrato comercial, também mostraram que as mudas nos recipientes de maiores dimensões apresentaram maior crescimento, sendo o tubete de 50 cm³ o que apresentou resultados inferiores.

Ferraz e Engel (2011), estudando três espécies nativas de diferentes estágios ecológicos (*Hymenea coubaril*, *Tabebuia chrysotricha* e *Parapiptadenia rigida*), verificaram que as plantas produzidas com substrato comercial orgânico no tubete de 300 cm³ (maior recipiente avaliado) foi as que obtiveram maior crescimento, possibilitando reduzir o tempo de produção em até 70 dias. Viana et al. (2008), em estudo com *Bauhinia forficata* e Teixeira et al. (2005), avaliando *Jacaranda micrantha* e *Triplaris americana*, também mostraram efeitos de diferentes tamanhos de recipientes na produção de mudas florestais.

O tubete de 280 cm³ foi o que apresentou maior biomassa da parte aérea para as espécies *Ceiba speciosa* e *Lafoensia glyptocarpa* (Tabela 4), fato atribuído a maior quantidade de substrato, espaço e nutrientes neste tratamento. Entretanto, para a *Pseudobombax grandiflorum* e *Dalbergia nigra* os resultados foram estatisticamente iguais aos valores encontrados para o tubete de 180 cm³. Estes dois recipientes ocupam a mesma área no viveiro florestal, pois possuem o mesmo diâmetro, sendo diferentes

somente no comprimento (Tabela 2). Assim, provavelmente, a competição por luminosidade nestes tratamentos é a mesma, o que apresenta influência direta na área foliar, e por consequência na biomassa da parte aérea (ATAÍDE et al., 2010).

Na comparação com o tubete de 110 e 55 cm³, a competição por luminosidade nas bandejas é maior, visto que estes tubetes apresentam menores diâmetros, sendo a densidade de mudas por unidade de área maior (Tabela 2). O desenvolvimento das plantas depende da adequada conversão da energia solar interceptada em quantidades crescentes de carboidratos, sendo o crescimento em massa seca decorrente do acúmulo dessas substâncias nos vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2009), corroborando com os resultados encontrados.

A biomassa do sistema radicular foi semelhante à da parte aérea, onde o tubete de 280 cm³ apresentou diferenças significativas, em relação ao tubete de 180 cm³ nas espécies *Ceiba speciosa* e *Lafoensia glyptocarpa*. Para o tubete de 110 cm³, apenas a *Dalbergia nigra* não apresentou diferenças significativas em relação ao tubete de maior volume, no entanto, também não apresentou diferenças em relação ao tubete de 55 cm³ em todas as espécies estudadas.

O estudo da biomassa radicular é importante, pois, mudas que apresentam maiores valores de biomassa radicular tendem a obter um melhor desempenho após o plantio, por possuírem maior volume de raízes para absorção de água e nutrientes, além da facilidade de sustentação (CARNEIRO, 1995; DAVIDE; SILVA, 2008; BOMFIM et al., 2009). Sistema radicular reduzido resulta em plantas estressadas hidricamente, por não absorverem água suficiente para balancear as perdas pela transpiração. Também é importante que haja raízes finas novas, as quais assegurarão pronto crescimento radicular no campo, agilizando a adaptação da muda ao ambiente (CARNEIRO, 1995; GONÇALVES et al., 2000; ZONTA et al., 2006).

A qualidade das mudas também foi influenciada pelo volume dos tubetes, onde, nos tubetes menores, os valores encontrados foram inferiores, como é evidenciado no índice de qualidade de Dickson (Tabela 4). O índice de qualidade de Dickson (IQD) é considerado o vigor e o equilíbrio da distribuição da biomassa na muda. Ele pondera os resultados de muitas variáveis (DICKSON et al., 1960; GOMES et al., 2002; BINOTTO et al., 2010). O tubete de 280 cm³ foi o que obteve o melhor IQD, confirmando a influência do volume dos recipientes na produção de mudas florestais utilizando o biossólido como substrato (Tabela 4).

Na Tabela 4, nota-se também que para *Ceiba speciosa*, *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa* o tratamento de 180 cm³ e 110 cm³ não diferiram significativamente nos parâmetros de qualidade, o que indica que, até a idade avaliada, o biossólido presente no substrato conseguiu suprir as demandas nutricionais das espécies, nestes dois tratamentos.

Outro fator para a ausência de diferenças significativas nestes tratamentos é que o tubete de 110 cm³ possui maior comprimento que o tubete de 180 cm³ e, segundo Gomes et al. (1990), em geral a altura da embalagem é mais importante do que o seu diâmetro e volume para o crescimento de mudas de várias espécies florestais, visto que a maior parte destas apresentam crescimento radicular pivotante (CARVALHO, 2003), sendo beneficiado pelo maior comprimento do recipiente.

Resultado semelhante foi encontrado por Santos et al. (2000) em estudo com *Cryptomeria japonica*, aos 111 dias de idade, onde, as plantas produzidas em substrato formado por proporções iguais de solo e vermiculita, os tubetes de 120 cm³ apresentaram crescimento similar as produzidas no tubete 240 cm³. Nicoloso et al. (2000), em estudo com *Apuleia leiocarpa* e *Maytenus ilicifolia*, encontraram que as

embalagens menores ofereceram melhores condições para o crescimento das mudas, sendo a arquitetura do recipiente e o substrato os fatores mais determinantes para a diferença entre os tratamentos.

Diversos autores (CARNEIRO, 1995; MEXAL et al., 2002; MALAVASI; MALAVASI, 2006) mencionam que, no processo de produção de mudas é necessário atentar para o tamanho e volume de recipiente a se utilizar. Do mesmo modo, Cunha et al. (2005) relatam que maiores tubetes oferecem melhores condições para o crescimento das mudas, contudo eles somente devem ser utilizados para espécies que apresentam crescimento lento, necessitando de maior permanência no viveiro, ou quando se deseja mudas mais desenvolvidas, como para a arborização urbana. Segundo estes autores, embalagens maiores podem tornar o processo de produção das mudas mais oneroso, pelo maior volume de substrato e maior espaço no viveiro. Outro fator importante a se deve levar em consideração na escolha do recipiente é o custo do transporte do viveiro até a área de plantio (quantidade de mudas por frete) e o custo de distribuição das mudas no momento do plantio, devido ao peso e volume dos recipientes, principalmente quando a área a ser restaurada se encontra em locais de difícil acesso e em terrenos declivosos.

4.2. Fase de campo

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de sobrevivência das mudas originadas dos diferentes tubetes, aos seis meses após o plantio. Para *Ceiba speciosa*, apenas as mudas oriundas de tubete de 55 cm³, apresentaram taxa de sobrevivência inferior a 90%. Isto provavelmente ocorreu devido à qualidade inferior das mudas produzidas nos tubetes de 55 cm³ (Figura 2 e Tabela 4) aliadas a pouca chuva nas primeiras quinzenas após o plantio (Figura 1). Segundo Rodrigues et al. (2009) em reflorestamentos nativos, quando a sobrevivência das plantas é inferior a 90% se faz necessário o replantio, sendo esta uma atividade que aumenta os custos da formação dos povoamentos para a restauração florestal.

Tabela 5: Percentual de sobrevivência de espécies florestais da Mata Atlântica aos seis meses após o plantio, oriundas de mudas produzidas em quatro volumes de tubetes, em área experimental de reflorestamento, Bom Jardim - RJ

| Espécie | 55 cm ³ | 110 cm ³ | 180 cm ³ | 280 cm ³ |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| | ----- % ----- | | | |
| <i>Ceiba speciosa</i> | 70,0 | 90,0 | 95,0 | 90,0 |
| <i>Pseudobombax grandiflorum</i> | 60,0 | 90,0 | 80,0 | 90,0 |
| <i>Dalbergia nigra</i> | 5,0 | 40,0 | 25,0 | 45,0 |
| <i>Lafoensia glyptocarpa</i> | 30,0 | 55,0 | 85,0 | 85,0 |

Pseudobombax grandiflorum apresentou taxa de sobrevivência de 90% para as mudas produzidas nos tubetes de 280 e 110 cm³ (Tabela 5). Nos recipientes de 55 e 180 cm³ a taxa de sobrevivência foi menor, sendo necessário o replantio (RODRIGUES et al., 2009). A *Pseudobombax grandiflorum* é uma espécie que possui o sistema radicular do tipo pivotante (CARVALHO, 2003), onde o comprimento do recipiente em que a muda foi produzida se torna mais importante que o diâmetro e o volume (GOMES et al., 1990), tendo influências diretas no crescimento das raízes e na sobrevivência das plantas em campo. Assim, estes resultados indicam que para esta espécie as mudas deverão ser produzidas em tubetes de maiores comprimentos.

A baixa sobrevivência das plantas de *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa* foi comprometida pelas condições logo após o plantio (a partir da 6ª quinzena), pois foi caracterizado por um período de ausência de chuvas e altas temperaturas (Figura 1), prejudicando a sobrevivência das plantas, em que não foi possível avaliar os efeitos dos diferentes volumes de tubetes.

Apesar do tubete de 55 cm³ proporcionar economia em espaço, substrato, menor peso e custo do transporte do viveiro para campo e facilidade na distribuição das mudas, de modo geral, a utilização deste recipiente não é recomendada, pois apresentou a menor sobrevivência das mudas em campo independente da espécie avaliada. Dessa forma, a economia gerada no viveiro e pré- plantio poderá ser perdida nas atividades de replantio, elevando os custos da restauração florestal (MARTINS, 2001; RODRIGUES et al., 2009).

Nos tubetes maiores a quantidade de bio-sólido também é maior, o que propicia condições de disponibilidade de nutrientes e melhor nutrição das plantas, repercutindo diretamente na sobrevivência das mudas após o plantio. Segundo Cunha et al. (2009), o estado nutricional das plantas determinará a quantidade de carboidratos, auxinas, entre outros metabólicos fundamentais para a formação radicular e velocidade com que esta ocorre, favorecendo a sobrevivência em campo.

Estudo avaliando a sobrevivência e crescimento de *Pinus taeda* em diferentes recipientes foi desenvolvido por Novaes et al. (2002), em que os recipientes de maior volume foram os que apresentaram maior sobrevivência (entre 97% e 99%) e crescimento em altura e diâmetro de coleto aos 24 meses após o plantio. Nobrega et al. (2007), em estudo com *Schinus terebinthifolius*, e Abreu (2014) com quatro espécies florestais (*Anadenanthera macrocarpa*, *Schinus terebinthifolius*, *Pseudobombax grandiflorum* e *Handroanthus heptaphyllus*), também mostraram que a maior quantidade de bio-sólido favorece o crescimento das mudas no viveiro, o que, normalmente, proporciona o aumento da taxa sobrevivência após o plantio (no campo).

O crescimento médio em altura e diâmetro de coleto das plantas de *Ceiba speciosa* e *Pseudobombax grandiflorum* oriundas das mudas produzidas nos diferentes volumes de tubetes, aos seis meses após o plantio, estão apresentados na Figura 3. Para *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa* não foi possível avaliar o crescimento após o plantio devido à baixa taxa de sobrevivência das plantas.

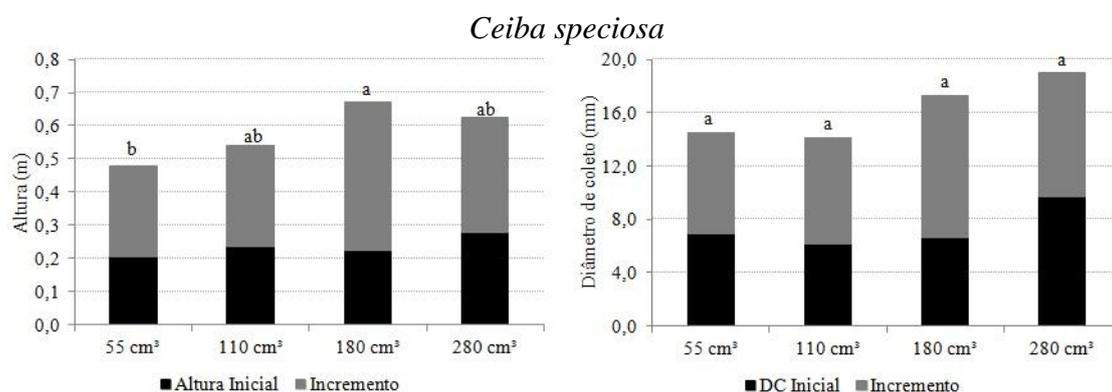


Figura 3: Crescimento em campo, aos seis meses após o plantio, de *Ceiba speciosa* e de *Pseudobombax grandiflorum*, em área de reflorestamento, de Bom Jardim – RJ, originárias de mudas produzidas em quatro volumes de tubetes. Em cada gráfico, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,95$).

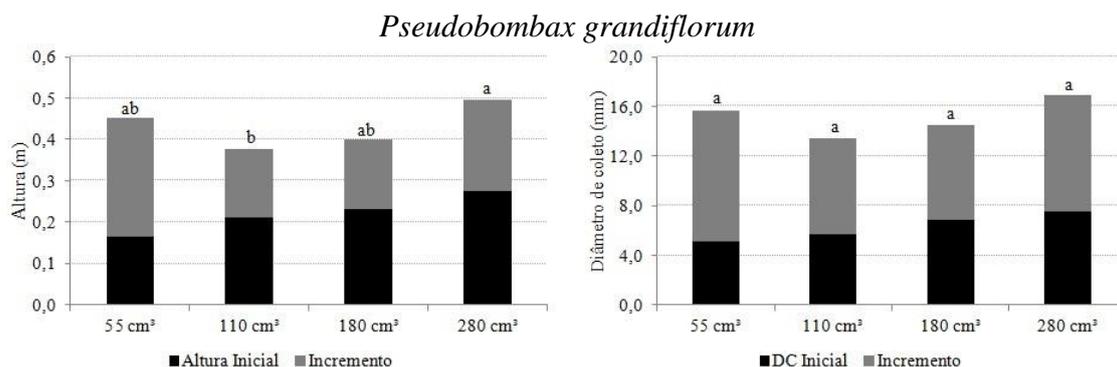


Figura 3: Crescimento em campo, aos seis meses após o plantio, de *Ceiba speciosa* e de *Pseudobombax grandiflorum*, em área de reflorestamento, de Bom Jardim – RJ, originárias de mudas produzidas em quatro volumes de tubetes. Em cada gráfico, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,95$).

Observa-se que o volume dos tubetes onde as mudas foram produzidas interferiu no crescimento das plantas, independente da espécie (Figura 3). Segundo Neves et al. (2005) o volume do recipiente, normalmente, interfere na distribuição do sistema radicular, o que influenciará na sobrevivência e crescimento inicial em campo.

As mudas de *Ceiba speciosa* obtiveram melhor crescimento quando produzidas em tubetes de 280 cm³ (Figura 1), no entanto esta diferença não foi observada aos seis meses após o plantio. José et al. (2005) mencionam que as diferenças no crescimento das mudas produzidas em diferentes tubetes tendem a desaparecer com o tempo. Gasparin et al. (2014) em estudo com *Cabralea canjarana*, produzidas em diferentes composições de substrato a base de turfa, também verificaram que até os 180 dias após o plantio não houve diferenças significativas entre os recipientes avaliados.

A diferença após plantio mais evidente ocorreu no tubete de 55 cm³ em relação aos outros tratamentos, na qual apresentou valores de altura aquém dos encontrados nas embalagens maiores. Freitas et al. (2008), em estudo com clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, mostraram que recipientes mais volumosos obtiveram maiores valores de altura, diâmetro e biomassa de raízes aos 180 dias após plantio, onde o ganho na produção de lenho foi até 80% maior que nas plantas oriundas de tubetes de 50 cm³.

Em relação à *Pseudobombax grandiflorum*, apenas as mudas produzidas nos tubetes de 110 cm³ apresentaram plantas com altura significativamente inferior as produzidas nos demais recipientes, aos seis meses após o plantio. Porém, é recomendada a utilização deste recipiente, pois a sobrevivência foi superior aos tubetes de 180 e 55 cm³ (Tabela 5) e a economia de substrato e espaço no viveiro e de custos na operação de transporte e plantio normalmente tende a ser maior em comparação ao tubete de 280 cm³. Além disso, as diferenças em altura tendem a desaparecer conforme aumenta a idade do povoamento (JOSÉ et al., 2005).

Apesar das mudas de *Pseudobombax grandiflorum* produzidas nos tubetes de 55 cm³ apresentarem crescimento em campo superior às mudas do tubete de 110 cm³, não se deve utilizar esse recipiente, pois a sobrevivência foi inferior aos 90% (Tabela 4), sendo necessária a realização da atividade de replantio (RODRIGUES et al., 2009). Souza et al. (2002), estudando *Eugenia dysenterica*, também encontraram maiores valores em crescimento quando se utilizou recipientes menores aos 120 dias após o plantio. No entanto estes autores mencionam que tais diferenças são de pouco efeito e que o acompanhamento do crescimento destas plantas no campo deve ocorrer por um maior período, podendo confirmar se as tendências persistirão.

Mexal et al. (2001), em estudo com *Swietenia macrophylla* e *Cedrela odorata*, também mencionam que quando realiza-se o plantio das mudas em campo, tem-se que levar em consideração o diâmetro de coleta das mudas, pois esta variável possui alta correlação com a taxa de sobrevivência, em que os maiores diâmetros proporcionam maior sobrevivência (RITCHIE et al., 2010). Dessa forma, as mudas provenientes do tubete de 55 cm³ possuíam menores diâmetros de coleta (Figura 2), não sendo recomendadas para o plantio no campo quando comparadas com os outros tratamentos.

5. CONCLUSÕES

O tubete de 280 cm³ foi o que proporcionou a melhor de qualidade de mudas, independente da espécie, quando se utilizou o bio sólido como substrato. Todavia, para as espécies *Pseudobombax grandiflorum*, *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa* pode-se utilizar o tubete de 180 cm³ para a formação das mudas, mantendo qualidade similar.

Para as espécies *Dalbergia nigra* e *Lafoensia glyptocarpa*, produzidas utilizando o bio sólido como substrato, necessita-se de maiores estudos, como em relação ao tempo de formação das mudas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Bio sólido na produção de mudas florestais**. 2014. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ATAÍDE, G. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTANA, R. C.; DIAS, B. A. S.; CORREIA, A. C. G.; MENDES, A. F. N. Efeito da densidade na bandeja sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Trópica**, Chapadinha, v. 4, n. 2, p. 21-26, 2010.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto: descrição do estudo. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 17-24.

BINOTTO, A. F.; DAL, A.; LÚCIO, C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BLAISE, D.; SINGH, J. V.; BONDE, A. N.; TEKALE, K. U.; MAYEE, C. D. Effects of farmyard manure and fertilizers on yield, fibre quality and nutrient balance of rainfed cotton (*Gossypium hirsutum*). **Bioresource Technology**, v. 96, p. 345-349, 2005.

BOMFIM, A. A.; NOVAES, A. B.; JOSÉ, A. R. S.; GRISI, F. A. Avaliação morfológica de mudas de madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.) produzidas em tubetes e sacos plásticos e seu desempenho no campo. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 1, p. 33-40, 2009.

BOVI, M. L. A.; GODOY JÚNIOR, G.; COSTA, E. A. D.; BERTON, R. S.; SPIERING, S. H.; VEGA, F. V. A.; CEMBRANELLI, M. A. R.; MALDONADO, C. A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 31, p.153-166, 2006.

CALDEIRA, M. V. W.; BLUM, H.; BALBINOT, R.; LOMBARDI, K. C. Composto orgânico na produção de mudas de aroeira vermelha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, p. 27-33, 2008.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013a.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013b.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Campos/UENF. UFPR/FUPEF, 1995. 451p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, v. I e II, 2004. 1039 p.

CUNHA, A. O.; ANDRADE, L. A.; BRUNO, R. L. A.; SILVA, J. A. L.; SOUZA, V. C. Efeitos de substratos e das dimensões dos recipientes na qualidade das mudas de *Tabebuia impetiginosa* (Mart. ExD.C.) Standl. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 507-516, 2005.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 58, p. 35-47, 2009.

DAVIDE, A. C.; SILVA, E. A. A. **Produção de Sementes e mudas de espécies florestais**. 2008, Lavras: Editora da UFLA, 2008, 128p.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronologie**, Toronto, v. 36, p. 10-13, 1960.

FERRAZ, A. V.; ENGEL, V. L. Efeito do tamanho de tubetes na qualidade de mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L. var. *stilbocarpa* (Hayne) Lee et Lang.), ipê-amarela (*Tabebuia chrysotricha* (Mart. ex Dc.) Sandl.) e guarucaia (*Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 413-423, 2011.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; COUTINHO, M. P. Outplanting performance of eucalyptus clonal cuttings produced in different containers and substrates. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. 1019-1028, 2008.

GASPARIN, E.; AVILLA, A. L.; ARAÚJO, M. M.; CARGNELUTTI FILHO, A.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjarana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Crescimento de mudas de *Eucalyptus grandis* em diferentes tamanhos de tubetes e fertilização N-P-K. **Revista Árvore**, Viçosa. v.27, n.2, p. 113-127, 2003.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; BORGES, R. C. G.; FREITAS, S. C. Influência do tamanho da embalagem plástica na produção de mudas de ipê (*Tabebuia serratifolia*) de copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e de angico-vermelho (*Piptadenia peregrina*). **Revista Árvore**, Viçosa. v.14, n.1, p. 26-34, 1990.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GONÇALVES, E. O.; PAIVA, H. N.; NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M. Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca, e Mg. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012.

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica**. 1995, Piracicaba: ESALQ, n. 15, p. 1-23, 1995. (Série Documentos Florestais).

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestal, 2000.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação diária tempertaura máxima Cordeiro, RJ**. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?>> Acesso em 15 julho de 2014.

JESUS, R.; LOGISTER, F.; MENANDRO, M.S. Efeito da luminosidade e do substrato na produção de mudas de *Cordia trichotoma* Vell. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 4. 1991, Nova Prata. **Anais**. Nova Prata: 1991. v.1, p. 459 - 479.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Produção de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi) para recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 12, p. 187-196, 2005.

KELLER, L.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; COUTINHO, R. P.; NASCIMENTO, D. F. Sistemas de blocos prensados para produção de mudas de três espécies arbóreas nativas. **Revista árvore**, v. 33, n. 2, p. 305-314, 2009.

LAMHAMED, M. S.; BERNIER, P. Y.; HÉBERT, C.; JOBIDON, R. Physiological and growth responses of three sizes of containerized *Picea mariana* seedlings outplanted with and without vegetation control. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 110, n. 1/3, p. 13-23, 1998.

LISBOA, A. C.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N. O.; CASTRO, D. N.; ABREU, A. H. M. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista árvore**, Viçosa, v.36, n.4, p.603-609, 2012.

MALAVASI, U. C.; MALAVASI, M. M. Efeito do volume do tubete no crescimento inicial de plântulas de *Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud e *Jacaranda micranta* Cham. **Ciência Florestal**, v.16, n.1, p.11-16, 2006.

- MARTINS, S. V. **Recuperação de matas ciliares**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001, 143p.
- MEXAL, J. G.; RANGEL, R. A. C.; NEGREROS-CASTILLO, P.; LEZAMA, C. P. Nursery production practices affect survival and growth of tropical hardwoods in Quintana Roo, Mexico. **Forest Ecology and Management**, v. 168, p. 125-133, 2002.
- MEXAL, J. G.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM; MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, 1990, Oregon. **Proceedings**. Oregon: USDA, 1990. p.17-37.
- NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; AZEVEDO, M. C. B.; HIGA, A. R.; SIMON, A. Efeitos de substratos e recipientes utilizados na produção das mudas sobre a arquitetura do sistema radicular de árvores de acácia-negra. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 897-905, 2005.
- NICOLOSO, F. T.; FORTUNATO, R. P.; ZANCHETTI, F.; CASSOL, L. F.; EISINGER, S. M. Recipientes e substratos na produção de mudas de *Muytenus ilicifolia* e *Apuleia leiocarpa*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 987-992, 2000.
- NOBREGA, R. S. A. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 239-246, 2007.
- NOVAES, A. B.; CARNEIRO, J. G. A.; BARROSO, D. G.; LELES, P. S. S. Avaliação do potencial de regeneração de raízes de mudas de *Pinus taeda* L., produzidas em diferentes tipos de recipientes, e o seu desempenho no campo. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 675-681, 2002.
- PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- PORTELA, R. C. Q.; SILVA, I. L.; PINÃ-RODRIGUES, F. C. M. Crescimento inicial de mudas de *Clitoria fairchildiana* Howard e *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub em diferentes condições de sombreamento. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 163-170, 2001.
- RITCHIE, G. A.; LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling Processing, Storage, and Outplanting**. v. 7. Washington: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2010, p. 17-82. (Agric. Handbk. 674 – Cap. 2).
- SANTOS, F. E. V. **Caracterização física e química de substratos com lodo de esgoto na produção de mudas de *Aegiphila sellowiana* Cham**. 2013. 151f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro.
- SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. A Efeito do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. f.) D. Don. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DO AMBIENTE – SEA-RJ. **Diagnostico da produção de mudas de espécies nativas no Estado do Rio de Janeiro**. 1º edição. Rio de Janeiro. 2010. 63 p.

SOUZA, E. R. B.; NAVES, R. V.; CARNEIRO, I. F.; LEANDRO, W. M.; BORGES, J. D. Crescimento e sobrevivência de mudas de cagaiteira (*Eugenia dysenterica* Dc) nas condições do cerrado. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 491-495, 2002.

SOUZA, N. H.; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. O.; RAMOS, D. D.; SCALON, S. P. Q.; SILVA, E. F. Estudo nutricional de canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, p. 717-724, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª Edição. 2009, Porto Alegre: Artmed, 2009, 848p.

TEIXEIRA, S. A.; MAIOCHI, R. A.; GIRARDI, C. G.; SCHORN, L. A. Efeito de diferentes tamanhos de sacos plástico, na produção de mudas de *Triplaris americana* L. e *Jacaranda micrantha* Cham. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, n.2, p. 765-767, 2005.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012.

VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; ANDRADE, L. A.; OLIVEIRA, L. S. B.; SILVA, E. O. Crescimento de mudas de *Bauhinia forficata* Link. Em diferentes tamanhos de recipientes. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 4, p. 663-671, 2008.

ZAMITH, L. R.; SCARANO, F. R. Produção de mudas de espécies das restingas do município do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, Rio de Janeiro, v.18, n.1, p. 161-176, 2004.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 07-52.

CAPÍTULO II

DOSES CRESCENTES DE BIOSSÓLIDO NO CRESCIMENTO E NUTRIÇÃO DE *CEIBA SPECIOSA*, E SEUS EFEITOS NO SOLO

RESUMO

No Brasil, tem-se verificado nos últimos anos a preocupação com a recuperação de áreas degradadas e recomposição de matas que foram destruídas ou perturbadas no decorrer do tempo. Os solos onde é realizada a formação dos povoamentos florestais normalmente são pobres em matéria orgânica e nutrientes. A utilização do biossólido para melhorar as condições do solo e suprir as demandas nutricionais das plantas na formação de povoamentos visando à restauração florestal seria uma forma de minimizar os custos na destinação deste resíduo e melhorar utilização deste material. Este experimento teve como objetivo de avaliar os efeitos de doses crescentes de biossólido no crescimento e nutrição da *Ceiba speciosa*, em condições controladas, bem como a influência nas características do solo. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco repetições de uma única planta. Os tratamentos consistiram da testemunha, aplicação de 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 litros de biossólido por planta e na fertilização com 178,0 g planta⁻¹ de superfosfato simples. A dose ideal para o maior crescimento das plantas de *Ceiba speciosa* ficou entre 3,9 e 4,2 litros de biossólido por planta. A aplicação da menor dose de biossólido já foi capaz suprir as demandas nutricionais da *Ceiba speciosa* e proporcionou crescimento satisfatório às plantas. As plantas não responderam a adubação química.

Palavras-chave: Restauração florestal, lodo de esgoto, paineira, nutrição florestal.

ABSTRACT

For the past few years in Brazil, there has been concern over the restoration of degraded areas and revitalizing forested areas that have been destroyed or disturbed. Normally, the soils where the formation of the forestry stands occurs have low levels of organic matter and nutrients. The utilization of biosolid to improve soil conditions and to meet the nutritional demand of plants in forestry restoration stands formation would be a way to minimize the costs regarding the destination of this residual and to improve the utilization of this material. This experiment aimed to evaluate the effect of increasing doses of biosolid in *Ceiba speciosa* growth and nutrition under controlled conditions, as well as its influence on soil characteristics. The experiment was done under entirely randomized design, composed of five replications of a unique plant. The treatments consisted of the control, application of 0.8, 1.6, 3.2, and 6 liters of biosolid per plant and the fertilization with 178.0 g plant⁻¹ of simple superphosphate. The ideal dose for growth enhancement of *Ceiba speciosa* plants was between 3.9 and 4.2 liters of biosolid per plant. The application of the lowest dose of biosolid was already capable of supplying the nutritional demands of *Ceiba speciosa* and provided satisfactory growth within the plant. The plants did not respond to chemical fertilization.

Key words: forestry restoration, sewage sludge, *Ceiba speciosa* (paineira), forestry nutrition.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, tem-se verificado nos últimos anos a preocupação com a recuperação de áreas degradadas e recomposição de matas que foram destruídas ou perturbadas no decorrer do tempo. Os solos onde são realizados a formação dos povoamentos florestais normalmente são pobres em matéria orgânica e nutrientes.

Entre os potenciais materiais que pode ser usado como fonte de adubação nas atividades de agricultura e florestal encontra-se o bio sólido (BETTIOL; CAMARGO, 2006) que é gerado pelas estações de tratamentos de esgoto (ETE). Normalmente, esta parte sólida do material gerado pelo processo das ETES é destinada a aterros sanitários, elevando os custos e causando impacto ambiental negativo (QUINTANA et al., 2009).

O bio sólido, por ter alto teor de matéria orgânica, possui grande potencial de melhorar tanto as características químicas como as físicas dos solos. Este potencial vai desde o poder de complexar elementos tóxicos aos vegetais (como o alumínio), aumentar o pH e a capacidade de troca catiônica (CTC), à elevação da porosidade, acúmulo de água e melhoria na estrutura do solo (COLODRO, 2005; GUEDES et al., 2006; BEZERRA et al., 2006). O bio sólido, também, pode favorecer a biota do solo, possibilitando a interação entre organismos, o que terá influência direta no crescimento dos vegetais (GHINI; LEONI, 2005).

Por estes mesmos motivos, e por conter quantidades apreciáveis de nutrientes, tem potencial de utilização como fonte para a adubação, uma vez que na sua aplicação ao solo eleva a disponibilidade de determinados elementos, como nitrogênio e fósforo, ficando passíveis da absorção pelas plantas e auxiliando o maior crescimento das mesmas (SILVA et al., 2002; LOPES et al., 2005; BOVI et al., 2007; SILVA et al., 2008a; PAIVA et al., 2009; ABREU, 2014).

A utilização do bio sólido para melhorar as condições do solo e suprir as demandas nutricionais das plantas na formação de povoamentos visando à restauração florestal seria uma forma de minimizar os custos na destinação deste resíduo e melhorar utilização deste material. Geralmente, os projetos de restauração florestal têm optado pela utilização de adubos químicos (RODRIGUES et al., 2009), por possuírem maior conhecimento sobre os efeitos destes, tanto nos vegetais, como no solo, e da maior praticidade na aplicação. Além disso, a legislação tem estabelecido limites para o uso do bio sólido (BRASIL, 2006), pois a aplicação demasiada pode causar problemas de contaminação do solo e cursos d'água pelo excesso de nutrientes, principalmente nitrogênio e metais pesados (OLIVIRA; MATTIAZZO, 2001; BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE et al., 2010). Dessa forma, a adequação das doses de bio sólido se faz necessária para a diminuição dos riscos de contaminação ambiental e garantia dos mesmos efeitos da aplicação de fertilizantes químicos convencionais.

Entre as espécies amplamente utilizadas na recomposição florestal de ecossistemas da Mata Atlântica, encontra-se *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (paineira) (RODRIGUES et al., 2009). A paineira, pertence à família das Malvaceae, é classificada como pioneira e possui rápido crescimento, além de ser uma espécie que apresenta ampla distribuição geográfica no território brasileiro (CARVALHO, 2003).

2. OBJETIVOS

Avaliar os efeitos de doses crescentes de bio sólido no crescimento e nutrição da *Ceiba speciosa*, em condições controladas, bem como a influência nas características do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Município de Seropédica, RJ, no período de 16 de novembro de 2013 a 16 de maio de 2014, utilizando-se vasos com a capacidade de 20 litros. O solo utilizado foi proveniente da camada de 0-40 cm de uma encosta de morro do município de Queimados, RJ, classificado como LATOSSOLO AMARELO endoálico distrófico de textura argilosa (FONSECA, 2010) e a análise química encontra-se na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química do solo utilizado para o crescimento das plantas de *Ceiba speciosa* sob diferentes tratamentos de fertilização

| pH | P | K ¹⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Corg |
|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|---|------------------|-------|------------------------|
| H ₂ O | ----- mg.dm ⁻³ ----- | ----- | ----- | mmol _c .dm ⁻³ ----- | ----- | ----- | - g.dm ⁻³ - |
| 5,1 | 1,0 | 27 | 4,0 | 2,0 | 9,0 | 45,0 | 17 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich¹; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

Para a definição dos tratamentos, foi adotada como base a aplicação de P₂O₅ para a adubação de plantio em espécies nativas recomendada por Gonçalves (1995), na análise química do solo (Tabela 1) e também na análise química do biofóssido (Tabela 2). Com base nestas informações, foi adotada como dose padrão 1,6 litros de biofóssido por planta. As outras doses foram a metade, duas e quatro vezes a dose padrão, ou seja, 0,8; 3,2 e 6,4 litros de biofóssido por planta. A fim de testar resposta das plantas de paineira à adubação química de plantio, utilizou-se um tratamento com a dose de 178 g.planta⁻¹ de superfosfato simples (SS). Esta dose do adubo corresponde à dose de P₂O₅ existente em 1,6 litros de biofóssido. Também foi utilizado um tratamento testemunha (sem adubação). Dessa forma, os tratamentos consistiram da testemunha, aplicação de 0,8; 1,6; 3,2; 6,4 litros de biofóssido por planta e na fertilização química de 178,0 g.planta⁻¹ de SS.

Tabela 2: Análise química do biofóssido utilizado como fertilizante no crescimento de *Ceiba speciosa*, em diferentes dosagens

| pH | P | K ¹⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Corg | N |
|------------------|---------------------------------|-----------------|------------------|---|------------------|-------|--------------------------|------|
| H ₂ O | ----- mg.dm ⁻³ ----- | ----- | ----- | mmol _c .dm ⁻³ ----- | ----- | ----- | -- g.dm ⁻³ -- | |
| 5,0 | 87 | 144 | 240,0 | 67,0 | 0,0 | 25,0 | 137,2 | 20,0 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich¹; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

As diferentes doses de biofóssido e o fertilizante químico foram misturados ao solo e, em seguida, os vasos foram preenchidos com a mistura solo-biofóssido e solo-fertilizante, para o tratamento de superfosfato simples. Para a testemunha absoluta, os vasos foram preenchidos apenas com o solo. Após preenchimento, foram plantadas mudas de *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna produzidas em tubetes de 280 cm³, e com altura padronizada de 50 cm. O substrato utilizado para a produção da muda era formado por 90% de substrato comercial e 10% de solo argiloso.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, composto por cinco repetições de uma única planta. Devido às condições de temperatura e precipitação da época do experimento, uma vez por dia as plantas eram irrigadas com 1,5 litros de água. Quando necessário, foram retiradas as plantas espontâneas, para evitar as interferências da competição.

Para a avaliação dos efeitos dos diferentes tratamentos, mensurou-se, após um mês do plantio, a altura e o diâmetro de coleto das plantas, com o auxílio de trena e paquímetro, respectivamente. Esta atividade foi repetida a cada 30 dias e até o sexto mês após o plantio, para o acompanhamento do crescimento.

Na última avaliação, retiraram-se quatro amostras de solo em cada vaso e, em seguida, as plantas foram cortadas para coleta de folhas, determinação da área foliar, usando medidor LICOR 1600, e coleta de caule e raízes. Os componentes de cada planta foram separados, acondicionados em sacos de papel e levados para estufa a 65° C até atingir peso constante. Após secagem, o material foi pesado e determinou-se a matéria seca para folhas, caule e raízes.

A fim de realizar a análise nutricional do tecido vegetal (folha, caule e raiz), o material foi moído e amostras dos componentes de cada planta foram enviadas para o Laboratório de Análise Química de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante, do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

As quatro amostras de solo de cada balde, formaram 30 amostras de solos compostas que também foram enviadas para análise de macronutrientes e de metais pesados nos laboratórios da UFV.

Os dados de crescimento mensurados nas diferentes épocas de avaliação foram submetidos à regressão e construídas as curvas de crescimento, em altura e diâmetro do coleto, para cada tratamento.

Na comparação entre a adubação com o biofósforo e a fertilização química, os dados da última medição, referentes à testemunha, a dose padrão (1,6 L planta⁻¹ de biofósforo) e o SS, juntamente com os valores de área foliar e peso seco de cada componente, foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$).

Com o intuito da determinação da dose indicada de biofósforo para a adubação de *Ceiba speciosa*, os dados de crescimento, área foliar e matéria seca da última avaliação (seis meses após o plantio), dos tratamentos das diferentes doses de biofósforo e a testemunha, foram submetidos à análise de regressão, em que foram construídas as curvas de crescimento em relação à dose de biofósforo.

Com o objetivo de obter a diferença de crescimento relativo envolvendo todas as variáveis de crescimento da última avaliação, calculou-se o crescimento relativo da aplicação das doses de biofósforo e de superfosfato simples em relação à testemunha para cada variável analisada. Em seguida, foi calculada a média do crescimento relativo. Nessa análise foi atribuído o mesmo peso para as variáveis analisadas.

A quantidade dos nutrientes nas plantas e no solo ao final das mensurações (seis meses após o plantio) também foi avaliada. Estes dados foram submetidos à análise de regressão (doses de biofósforo) e, para comparação entre a aplicação de 1,6 litros de biofósforo, superfosfato simples e testemunha, à análise de variância, sendo que quando detectadas diferenças submetidos ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Crescimento

Na análise das curvas de crescimento (Figura 1), nota-se que, independente da dose, quando se utilizou o biofósforo, o crescimento médio das plantas de *Ceiba speciosa* foi mais acelerado, como se percebe pelo distanciamento entre as curvas a partir dos 90 dias após o plantio. O resultado favorável ao biofósforo pode ser explicado por este possuir outros nutrientes além do fósforo (Tabela 2) e, como a adubação foi baseada somente no P, o crescimento das plantas do tratamento com superfosfato

simples apresentou tendência de ser inferior, pois este contém basicamente P_2O_5 e Ca (CAMPOS et al., 2013).

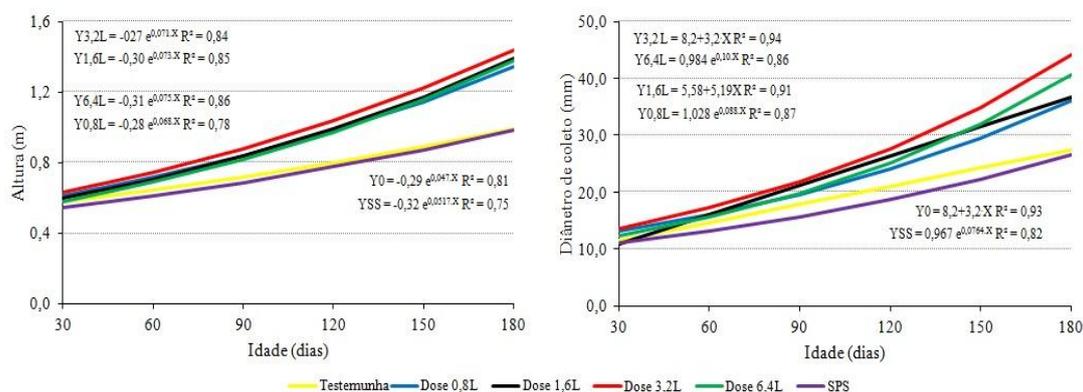


Figura 1: Curvas de crescimento em altura e diâmetro de coleto de plantas de *Ceiba speciosa*, ao longo do tempo, sob diferentes tratamentos de adubação de plantio, cultivadas em vasos.

A testemunha proporcionou menor tendência de crescimento devido a exigência nutricional da espécie (SORREANO et al., 2012), a fertilidade do solo (Tabela 1) e por não receber nenhum tipo de adubação. A utilização de compostos ou fertilizantes que proporcionem aumento na velocidade do crescimento inicial é de grande importância em ações de reflorestamento, pois as espécies florestais ficarão menos susceptíveis a competição com as plantas daninhas (FERREIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2012) e mais resistentes a ataque de pragas.

O biofóssido é um composto com alto teor de matéria orgânica, atuando como condicionador de solo e tendo influência direta nos resultados apresentados pelas plantas, visto que melhora a qualidade química do solo (LOPES et al., 2005; CALDEIRA JUNIOR et al., 2009; BARONY, 2011), fornecendo nutrientes e ajustando o pH (ROCHA et al., 2004; ASSENHEIMER, 2009).

Os atributos físicos do solo também são afetados pela adição do resíduo orgânico, pois, segundo Barbosa e Tavares Filho (2006), ocorrerá melhoria na estrutura e estado de agregação das partículas, diminuindo a densidade e aumentando a aeração e retenção de umidade no solo, o que beneficiará o crescimento das plantas corroborando com os resultados encontrados.

Pela Figura 1, observa-se que a dose de $3,2 \text{ Lplanta}^{-1}$ foi a que propiciou a maior ascensão da curva de crescimento, sendo superior a curva formada pela maior dose ($6,4 \text{ Lplanta}^{-1}$), que corresponde, teoricamente, a quatro vezes a quantidade recomendada de P_2O_5 para povoamentos nativos (GONÇALVES, 1995). Dessa forma, aparentemente o grande aumento das doses de biofóssido não resultou em incremento proporcional nas plantas, pois fatores com a característica do solo, capacidade de fornecimento de nutrientes e comportamento da espécie em questão (BOVI et al., 2007; PAIVA et al., 2009; CORRÊA et al., 2010; SORREANO et al., 2012) irão influenciar na resposta a adubação. Estes fatores devem ser levados em consideração quando se aplica o biofóssido, pois dosagens exageradas podem causar lixiviação de nutrientes, provocando a contaminação do lençol freático e cursos hídricos (MACEDO et al., 2006; SOCCOL et al., 2010).

Pela Tabela 3 constata-se que, aos seis meses após o plantio, as plantas de *Ceiba speciosa* que receberam $1,6 \text{ Lplanta}^{-1}$ (correspondente à dose padrão de biofóssido

baseada na quantidade de P_2O_5 para o plantio), apresentaram crescimento significativamente superior as plantas que receberam adubação com o SS e a testemunha em todas as características, evidenciando o potencial de uso do biofósforo na adubação de plantio. O resultado encontrado pode ser explicado pelo fato da maioria das espécies florestais possuírem como fonte de nutrientes a matéria orgânica (PAIVA et al., 2009). Estas espécies seriam mais eficientes na utilização do fósforo quando suprido por meio de fontes de lenta solubilidade, como pelos processos de ciclagem (PAIVA et al., 2009). Este fato garante os resultados apresentados pelas plantas adubadas com o biofósforo, pois o mesmo apresenta os nutrientes na forma orgânica, os quais são liberados gradativamente e melhor aproveitados pelos vegetais (CALDEIRA et al.; 2012a).

Tabela 3: Variáveis de crescimento de *Ceiba speciosa*, em cultivo em vasos sob duas formas de adubação de plantio e testemunha, após seis meses de idade

| Tratamento | Altura | Diâmetro coleto | Área foliar | Folhas | Caule | Raiz |
|-----------------------------|---------|-----------------|-----------------------|------------------------------------|--------|--------|
| | -- m -- | ---- mm ---- | -- cm ² -- | ----- g planta ⁻¹ ----- | | |
| 1,6 L vaso ⁻¹ | 1,3 a | 36,0 a | 1767 a | 25,6 a | 75,7 a | 74,9 a |
| Testemunha | 1,0 b | 27,2 b | 372 b | 11,6 b | 34,1 b | 42,5 b |
| 178 g SS vaso ⁻¹ | 1,0 b | 25,6 b | 486 b | 10,5 b | 29,3 b | 32,7 b |

SS = Superfósforo simples. Médias da mesma espécie seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$).

Ceiba speciosa é considerada uma espécie pioneira (LORENZI, 2010), de início de sucessão e apresenta crescimento relativamente rápido (KAGEYAMA; GANDARA, 2000), assim, quanto maior a taxa de crescimento, maior será a demanda por determinados nutrientes, principalmente nos estágios iniciais de crescimento da planta (GONÇALVES et al., 2001; CALDEIRA et al., 2012b). Deste modo, pelo biofósforo ter maior variedade de nutrientes que o SS (CAMPOS et al. 2013), além de matéria orgânica (Tabela 2), e a aplicação aumentar a quantidade presente no solo, a carência de determinados elementos provavelmente tenha sido o fator limitante para o crescimento das plantas da fertilização química.

Os resultados deste trabalho são corroborados pelo trabalho de Caldeira Junior et al. (2009), em estudo com *Astronium fraxinifolium*, onde verificaram aumento na disponibilidade de nutrientes e no crescimento das plantas quando aplicaram o biofósforo. Estes autores concluíram que este composto orgânico funciona como uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas.

A ausência de resposta entre as plantas da testemunha e das fertilizadas com o superfósforo simples é explicado por Gonçalves et al. (1985) em que, quando se aplica uma fonte solúvel de P em um Latossolo de textura argilosa, como é o caso do solo deste trabalho, frequentemente, mais de 90% é adsorvido em contato com o solo. Assim, pelo SS ser uma fonte solúvel de P, provavelmente este elemento ficou preso aos colóides do solo, não ficando disponível para as plantas e refletindo no baixo crescimento e produção de matéria seca.

Estes dados indicam, que para o solo utilizado, que é o mais comum na região sudeste do Brasil, a *Ceiba speciosa*, e provavelmente a maior parte das espécies arbóreas, não respondem a adubação de plantio com superfósforo simples ou outra fonte similar de adubo a base de P_2O_5 de alta solubilidade. Uma alternativa que deve ser observada e testada é a utilização de adubo com fontes mais solúveis e fontes menos

solúveis (fosfatos naturais), na adubação de plantio em povoamentos visando restauração florestal.

Em relação às respostas ao tratamento testemunha e as doses crescentes de biossólido aos seis meses após o plantio, a análise de regressão apresentou equações quadráticas para as variáveis de altura e diâmetro de coleto (Figura 2), evidenciando que o ponto máximo de crescimento de *Ceiba speciosa* se encontra entre 3,9 e 4,2 L.planta⁻¹ de biossólido, ou seja, aproximadamente 2,5 vezes a dose recomendada (1,6 L.planta⁻¹) para a adubação de povoamentos nativos com base nas exigências por P₂O₅ (GONÇALVES, 1995).

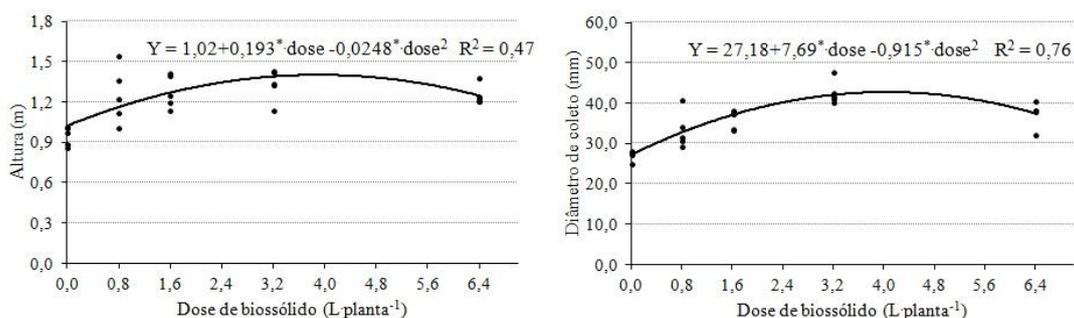


Figura 2: Altura e diâmetro de coleto de *Ceiba speciosa* em função de diferentes doses de biossólido por planta cultivada em vasos, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t.

Estudo com diferentes doses de lodo de esgoto também foi realizado por Corrêa et al. (2010), analisando a resposta da cobertura vegetal (herbáceas e arbustivas) em função da aplicação de doses crescentes. Este ensaio mostrou que o crescimento dos vegetais atingiu a parte assintótica da curva a partir da segunda dose de aplicação, o dobro da recomendada. Caldeira et al. (2012c), em experimento com *Ateleia glazioveana*, aos 90 dias após o transplante em recipientes com substrato com proporções crescentes de biossólido, também mostraram que existe um ponto ótimo na aplicação, em que, grandes quantidades do resíduo obtiveram efeitos negativos no crescimento das plantas.

Na análise da massa seca do caule e massa seca de raiz, o efeito quadrático em relação às dosagens de biossólido também foi observado (Figura 3), apresentando como dose ideal valor entre 4,3 e 4,6 L.planta⁻¹ de biossólido. Segundo Dechen e Nachtigall (2006), o crescimento e a arquitetura do caule e das raízes são afetados pelo substrato em que estão inseridos de tal modo que a aumento demasiado de uma substância pode causar efeitos benéficos ou prejudicar o crescimento das plantas. Dessa forma, até a aplicação da dose ideal, somente efeitos benéficos foram observados, após este valor, provavelmente, os elementos que as plantas não necessitam em grandes quantidades e presentes no biossólido começaram a causar fitotoxicidade na *Ceiba speciosa*, o que provocou declínio nos valores de biomassa para o caule e raízes (OLIVEIRA et al., 2008).

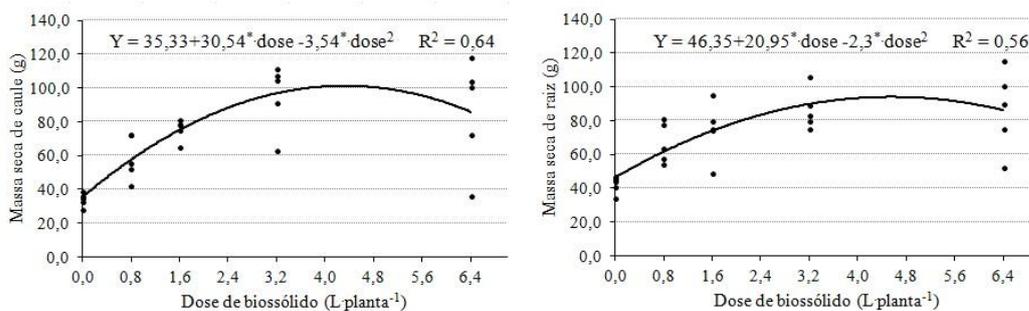


Figura 3: Matéria seca de caule e de raízes de *Ceiba speciosa* em função de diferentes doses de biofertilizante por planta cultivada em vasos, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t.

O declínio das curvas de crescimento em relação às doses mais altas também pode ser atribuído ao fato do biofertilizante aumentar excessivamente a quantidade de sais no substrato, o que ocasiona a necrose de tecidos, principalmente os radiculares, o que irá interferir no crescimento do vegetal (ARTHUR et al., 2007). Resultados similares foram encontrados por Maia (1999), em estudo com *Pinus taeda*, em que a biomassa da parte aérea e de raízes apresentaram efeitos quadráticos quanto ao aumento da utilização do lodo de esgoto.

Com base na área foliar e massa seca de folhas é possível afirmar que quanto mais aumenta a dose de biofertilizante maiores serão esses valores, visto que estas apresentaram comportamentos lineares para o aumento da dose de biofertilizante (Figura 4). Como já mencionado anteriormente, o biofertilizante é um composto com alto teor de matéria orgânica, por consequência, possui grandes quantidades de nitrogênio (Tabela 2). O N é um dos elementos minerais requeridos em maior quantidade pelas plantas e o que mais limita o crescimento (CANTARELLA, 2007; FREIRE et al., 2013). Ele faz parte de proteínas, ácidos nucleicos e muitos outros importantes constituintes celulares, principalmente na formação de folhas. Quando ocorre a assimilação do N nas raízes, aminoácidos são transportados para as folhas via fluxo xilema (SOUZA; FERNANDES, 2006). Assim, no aumento da dose de biofertilizante provavelmente aumentou-se a quantidade de nitrogênio para as plantas, o que contribuiu para formação de folhas e, conseqüentemente, o crescimento linear da área foliar e de matéria seca.

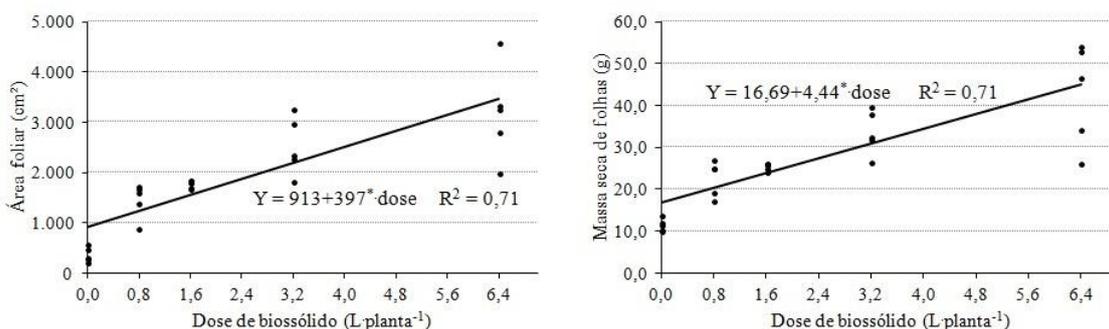


Figura 4: Área foliar e massa seca de folhas de *Ceiba speciosa* em função de diferentes doses de biofertilizante por planta cultivada em vasos, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t.

Santos et al. (2008), em estudo com *Lithraea molleoides*, *Schinus terebinthifolius*, *Mimosa caesalpiniaefolia*, *Sesbania virgata*, *Hymenaea courbaril*, *Calophyllum brasiliensis* e *Myroxylon peruiferum*, verificaram que com o aumento da

aplicação de fósforo também elevou o fornecimento de nutrientes, aumentando a produção de massa seca para as espécies estudadas, o que comprova o efeito positivo do uso do biofósforo. No entanto, Arthur et al. (2007), em experimento com diferentes doses de esterco bovino (adubo orgânico) em *Calophyllum brasiliense*, verificaram que os acréscimos na adubação proporcionou efeitos negativos, sendo as plantas da testemunha as que apresentaram maior valor em número de folhas e área foliar. Os resultados destes trabalhos, juntamente com os encontrados para a *Ceiba speciosa*, mostram que a resposta à adubação com o biofósforo irá variar conforme a espécie utilizada (PAIVA et al., 2009).

Outra observação importante das Figuras 2 e 3 é que o coeficiente de determinação (R^2) foi relativamente baixo, principalmente altura, matéria seca de caule e de raiz, evidenciando a dispersão dos dados, mesmo com a padronização inicial da altura das mudas (em 50 cm) e demais qualidade na época do plantio nos vasos. Isto indica que outros fatores, além do biofósforo interferiram no crescimento das plantas de *Ceiba speciosa*, apesar de todo o controle.

Pela Figura 5, constata-se que os aumentos das doses de biofósforo não resultam em incrementos proporcionais no crescimento relativo das plantas de *Ceiba speciosa*, aos seis meses após o plantio. A aplicação de $0,8 \text{ L.planta}^{-1}$ proporcionou ganho relativo de 96% em relação à testemunha, enquanto que na aplicação de $6,4 \text{ L.planta}^{-1}$, que corresponde a oito vezes mais, o ganho geral foi de 226%, ou seja, 2,35 vezes em relação a menor dose. Este resultado, juntamente com os demais (exceto em relação às folhas), evidencia que aplicação de doses exageradas não obterá crescimento proporcional à quantidade empregada, além de aumentar os riscos de contaminação ambiental (BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE et al. 2010; MAIO et al., 2011).

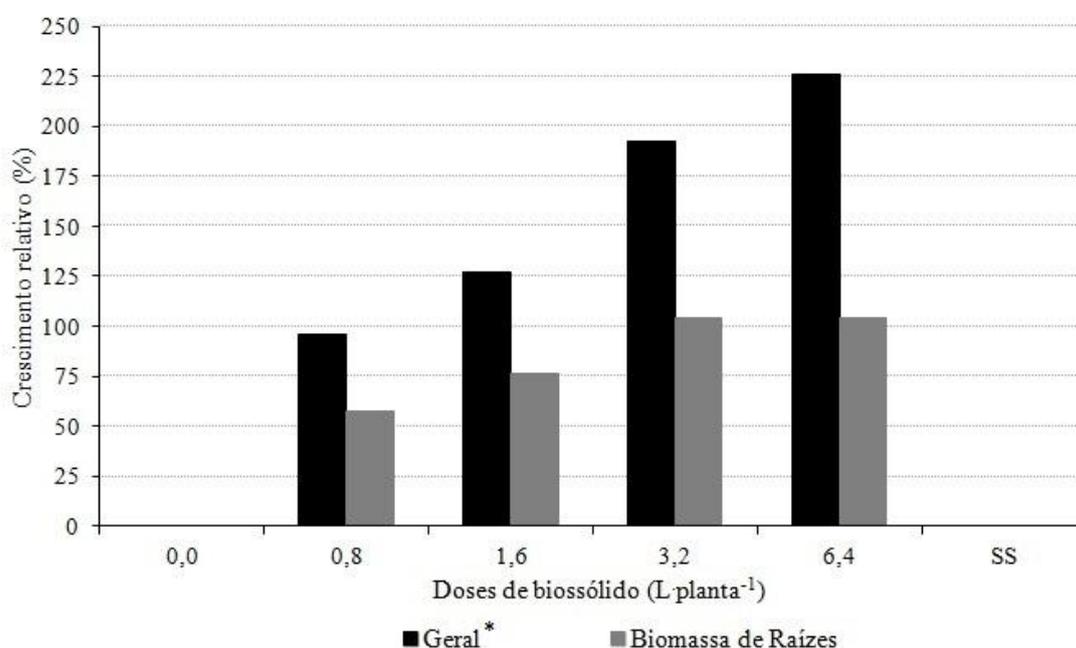


Figura 5: Crescimento relativo de *Ceiba speciosa* em diferentes doses de biofósforo e adubação com superfosfato simples (SS), em relação à testemunha, aos seis meses após o plantio. *corresponde à média de todas as variáveis.

A produção de raízes das plantas entre 06 e 12 meses de espécies florestais nativas é de grande importância para a formação do povoamento (LISBOA, 2010; VILLA, 2012) e a Figura 5 mostra que o biofósforo favoreceu o crescimento radicular

das plantas até a dose de 3,2 L/planta⁻¹. Com 6,4 litros por planta, o crescimento relativo em relação à testemunha foi semelhante à dose de 3,2 litros por planta, indicando que na idade de seis meses, houve a estabilização do crescimento radicular nos vasos.

A característica de ganhos não proporcionais é devida provavelmente ao bio sólido aumentar demasiadamente a quantidade de nutrientes no solo de tal forma que a espécie em questão não consegue assimilar com a mesma velocidade, o que propiciará a perda pelos processos de lixiviação (FERNANDES, 2006; NOVAIS et al., 2007). Além disso, a elevação demasiada de alguns elementos pode provocar efeitos tóxicos, diminuindo a produtividade (GONÇALVES et al., 2000). Silva et al. (2008a) mencionam que quando se eleva em muito as doses do bio sólido a ausência ou perda de produtividade pode ser atribuída, dentre outros fatores a possível limitação provocada pelos nutrientes mais escassos no material, como o potássio.

Pela Figura 5 e demais resultados, a indicação da dose de bio sólido a aplicar em Latossolos pobres em nutrientes, como deste trabalho (Tabela 1), irá depender da logística de transporte e de aplicação, incluindo a mão de obra. Ao se considerar que as maiores estações de tratamento de esgoto estão nos grandes centros urbanos, onde se produz mais bio sólido, é importante analisar os custos de transportes na escolha das doses, pois as plantas de *Ceiba speciosa* não responderam de maneira linear com o aumento da dosagem. Outro fator é mão de obra para distribuição do bio sólido nas covas de plantio, que depende da distância de onde é alocado o montante de bio sólido no campo e as covas, além da topografia do terreno.

A Figura 5 mostra que a aplicação de 178 gramas de superfosfato simples (SS) não favoreceu o crescimento da *Ceiba speciosa* aos seis meses após o plantio, visto que na análise geral do crescimento relativo às plantas do SS não obtiveram ganhos em relação à testemunha, corroborando com os dados da Tabela 3.

Os efeitos e ganhos na utilização de adubação rica em P₂O₅ para o crescimento de espécies de eucalipto já é conhecido (LANI et al., 1995), portanto, esperava-se que a *Ceiba speciosa*, que é uma espécie pioneira e de rápido crescimento (CARVALHO, 2003), fosse responder à adubação química. O SS é um fertilizante que apresenta altos teores de P₂O₅, CaO e traços de magnésio (CAMPOS et al., 2013), porém a carência de outros elementos químicos pode ter sido limitante para o crescimento da espécie em questão. Assim, as melhores respostas foram dos tratamentos que disponibilizarem maior quantidade e diversidade de nutrientes, como o bio sólido (PAIVA et al., 2009). A partir destes resultados, sugere-se que em futuros trabalhos que seja realizada no tratamento adubação química as quantidades semelhantes aos nutrientes na dose padrão de bio sólido, envolvendo também adubação de cobertura.

Ganhos na comparação entre a adubação química e bio sólido foi verificado por Cunha et al. (2006) em estudo com *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, onde o resíduo proporcionou resultados superiores, sendo aumento de 227% em altura e 150% em diâmetro. Do mesmo modo, Scheer et al. (2010), em estudo com *Parapiptadenia rigida* encontrou ganhos de 47% em altura, 23% em diâmetro de coleto, 80% em biomassa de caule e raízes e 107% em biomassa de folhas. Os autores destes trabalhos mencionam que isto acontece por o bio sólido possuir elevado teor de matéria orgânica, pois na ausência desta, as condições físicas e químicas não são adequadas, apesar do substrato conter nutrientes fornecidos pela adubação química. Outros trabalhos mostram ganhos expressivos com a utilização do bio sólido em diferentes espécies florestais (FAUSTINO et al., 2005; CALDEIRA et al., 2012a; CALDEIRA et al., 2012b; SCHEER et al., 2012a; SCHEER et al., 2012b; SCHEER et al., 2012c; TRAZZI et al., 2012; CALDEIRA et al., 2013a; CALDEIRA et al., 2013b; ABREU, 2014).

4. 2. Nutrientes na planta

A tendência de maior concentração de macronutrientes é observada nas plantas com a adubação química em comparação com a menor dose de biofósforo, exceto para o Mg (Tabela 4). No entanto, a aplicação de 0,8 L_{vaso}⁻¹ de biofósforo proporcionou maior crescimento (Figura 5), ficando a concentração dos macronutrientes dissolvida nos componentes da planta.

Tabela 4: Teor médio de macronutrientes e de metais pesados em plantas de *Ceiba speciosa*, submetidas a diferentes adubações de plantio, aos seis meses após o plantio em vasos

| Tratamento | Componente | N | P | K | Ca | Mg | Ni | Pb | Cd | Cr |
|--|------------|--------------------|------|-------|-------|------|---------------------|-------|------|------|
| | | g kg ⁻¹ | | | | | mg kg ⁻¹ | | | |
| Testemunha | Raiz | 5,69 | 0,57 | 7,04 | 4,00 | 1,65 | 1,34 | 5,31 | 0,21 | 1,55 |
| | Caule | 3,65 | 0,53 | 8,24 | 7,28 | 1,71 | 0,00 | 3,17 | 0,00 | 2,22 |
| | Folha | 21,92 | 1,34 | 13,54 | 18,42 | 3,97 | 2,00 | 9,26 | 0,23 | 4,26 |
| | Médio | 10,42 | 0,81 | 9,61 | 9,90 | 2,44 | 1,11 | 5,91 | 0,15 | 2,68 |
| 0,8 L _{vaso} ⁻¹ | Raiz | 9,99 | 0,95 | 5,24 | 4,31 | 1,79 | 10,87 | 11,80 | 0,77 | 7,58 |
| | Caule | 4,08 | 0,67 | 4,39 | 11,97 | 2,00 | 1,76 | 6,90 | 0,00 | 1,85 |
| | Folha | 19,01 | 1,45 | 6,32 | 32,54 | 4,14 | 2,84 | 10,45 | 0,39 | 4,77 |
| | Médio | 11,03 | 1,02 | 5,32 | 16,27 | 2,64 | 5,16 | 9,72 | 0,39 | 4,73 |
| 1,6 L _{vaso} ⁻¹ | Raiz | 7,39 | 1,02 | 5,54 | 4,90 | 1,87 | 6,40 | 6,39 | 0,49 | 4,57 |
| | Caule | 3,49 | 0,79 | 3,73 | 11,63 | 2,01 | 1,86 | 7,82 | 0,08 | 2,58 |
| | Folha | 19,44 | 1,42 | 6,32 | 34,23 | 4,41 | 5,24 | 10,60 | 0,55 | 5,07 |
| | Médio | 10,11 | 1,08 | 5,20 | 16,92 | 2,76 | 4,50 | 8,27 | 0,37 | 4,07 |
| 3,2 L _{vaso} ⁻¹ | Raiz | 12,30 | 1,23 | 6,80 | 5,85 | 1,79 | 9,02 | 10,99 | 0,86 | 6,05 |
| | Caule | 7,70 | 1,24 | 4,51 | 19,36 | 2,69 | 1,10 | 8,73 | 0,30 | 3,63 |
| | Folha | 21,82 | 1,73 | 6,38 | 34,44 | 4,37 | 4,04 | 10,56 | 0,53 | 5,22 |
| | Médio | 13,94 | 1,40 | 5,90 | 19,89 | 2,95 | 4,72 | 10,09 | 0,56 | 4,97 |
| 6,4 L _{vaso} ⁻¹ | Raiz | 13,11 | 1,46 | 5,96 | 6,30 | 2,36 | 12,58 | 13,43 | 1,10 | 7,23 |
| | Caule | 7,05 | 1,30 | 4,94 | 18,30 | 3,41 | 1,45 | 8,51 | 0,32 | 3,11 |
| | Folha | 25,97 | 1,68 | 6,98 | 32,98 | 5,02 | 2,95 | 10,19 | 0,51 | 5,63 |
| | Médio | 15,37 | 1,48 | 5,96 | 19,19 | 3,60 | 5,66 | 10,71 | 0,64 | 5,32 |
| 178 g SS _{vaso} ⁻¹ | Raiz | 7,17 | 4,32 | 7,28 | 8,24 | 2,25 | 3,66 | 2,69 | 0,00 | 5,18 |
| | Caule | 7,67 | 7,08 | 10,29 | 16,85 | 1,89 | 1,95 | 8,16 | 0,29 | 4,36 |
| | Folha | 29,39 | 7,53 | 14,15 | 30,96 | 3,05 | 4,96 | 8,99 | 0,42 | 6,38 |
| | Médio | 14,75 | 6,31 | 10,57 | 18,68 | 2,40 | 3,52 | 6,61 | 0,24 | 5,31 |

SS = superfosfato simples. N – N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P, K, Cr, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

O teor dos metais pesados possuiu tendência de maior acúmulo nas plantas adubadas com o biofósforo (Tabela 4), mesmo estas apresentando maior crescimento, o que ocasiona a dissolução dos compostos no vegetal, como discutido anteriormente. Portanto, este resultado evidencia a característica da *Ceiba speciosa* para a absorção destes elementos, funcionando como fitorremediadora de metais pesados, o que reduzirá possíveis riscos de contaminação ambiental e irá contribuir para a utilização do biofósforo em projetos de restauração florestal, visto que esta atividade não é destinada para consumo direto humano. Potencial fitorremediador por espécies arbóreas também

foi encontrado por Buosi e Felfili (2004) analisando duas espécies de eucalipto, em que contribuíram tanto na absorção de compostos nocivos ao homem quanto na melhoria das condições do solo pela ciclagem de nutrientes e aporte de matéria orgânica.

Os conteúdos totais dos diferentes macronutrientes na planta, aos seis meses após o plantio, apresentaram efeito quadrático em relação à aplicação das doses crescentes de biofósforo adicionadas na época de instalação do experimento (Figura 6), demonstrando que existe uma quantidade máxima de absorção dos elementos pela *Ceiba speciosa*.

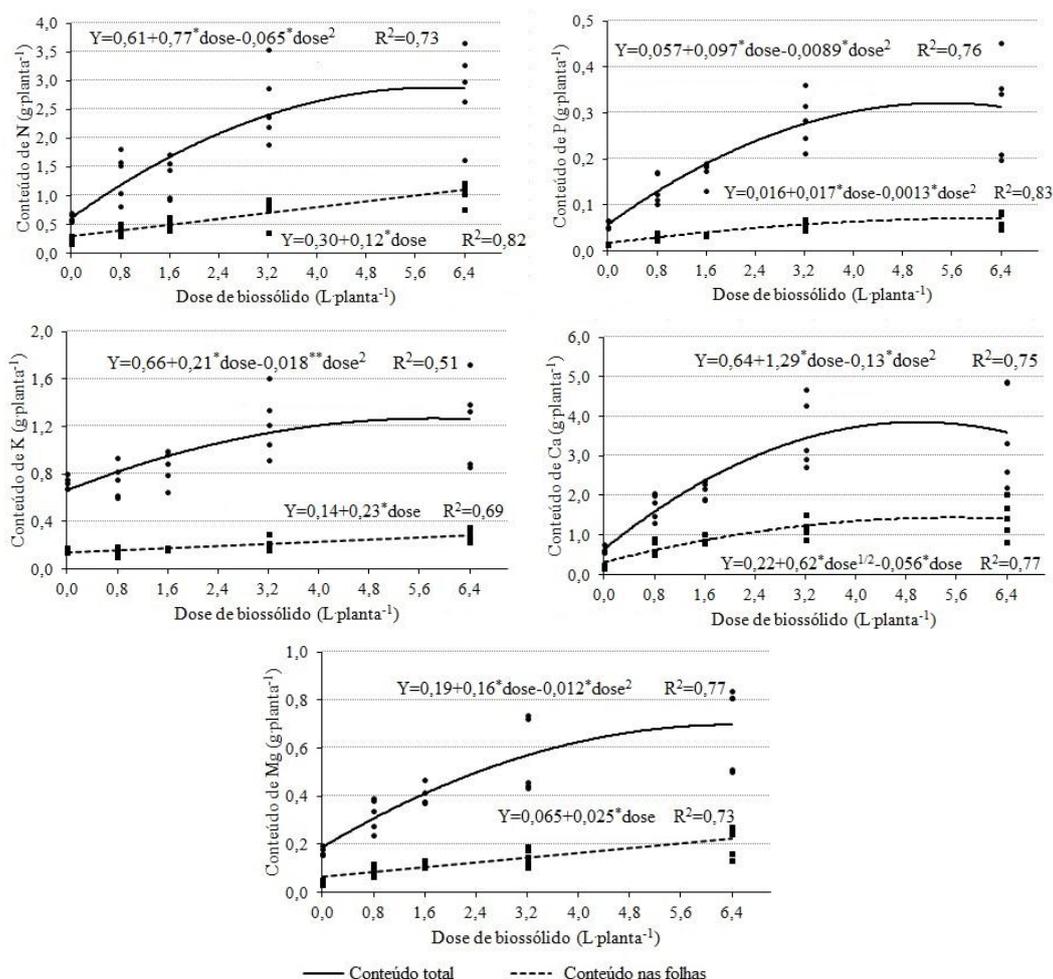


Figura 6: Conteúdo de macronutrientes por planta de *Ceiba speciosa* em função de doses crescentes de biofósforo como fertilização inicial, aos seis meses após o plantio.

*significativo a 1%, pelo teste t; ** significativo a 5%, pelo teste t.

N – N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P e K: extrator Mehlich -1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

Apesar da espécie estudada ser classificada como pioneira, em que normalmente apresentam rápido crescimento e maior exigência nutricional na fase inicial de crescimento (KAGEYAMA; GANDARA, 2000; GONÇALVES et al., 2001; CARVALHO, 2003; PAIVA et al., 2009), observa-se que a maior disponibilização de nutrientes não irá favorecer a absorção de macronutrientes pelas plantas, podendo até causar efeitos fitotóxicos (TAIZ; ZEIGER, 2009; SORREANO et al., 2012).

Do mesmo modo, o aumento demasiado de nutrientes também pode elevar as perdas por lixiviação (FERNANDES, 2006) e por adsorção no solo (NOVAIS et al., 2007), além dos riscos de contaminação ambiental (BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE et al., 2010). Este resultado é favorável à utilização do bio sólido como fonte de nutrientes para a *Ceiba speciosa*, uma vez que menores quantidades suprem as necessidades nutricionais e proporciona crescimento expressivo para a espécie (Figura 5), o que reduz os custos de transporte do bio sólido da estação tratamento de esgoto até o campo na operação de plantio e o menor gasto de mão de obra na aplicação.

Batista et al. (2013), em estudo com mudas de *Eucalyptus urophylla*, verificaram que doses mais elevadas de adubação orgânica também não propiciaram ganhos para conteúdo de nutriente das plantas, indicando que a fertilidade do solo, ou com as menores doses, já disponibiliza boa quantidade de nutrientes. Bazzo (2009), avaliando o teor nutricional de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, verificou que as maiores doses de lodo de esgoto também não proporcionaram maiores quantidades de macronutrientes, e que com o passar do tempo ocorre a redução nos teores desses elementos, pois aos 90 dias de idade foi identificada deficiência química das mudas, necessitando a aplicação de adubação a base de N, K, P e S para suprir as demandas de crescimento.

Na análise separada dos nutrientes (Figura 6), a aplicação de 5,9 L^{planta}⁻¹ de bio sólido é a quantidade que corresponde ao ponto máximo do conteúdo total de nitrogênio na planta. A aplicação de doses acima deste valor provavelmente aumentou a quantidade de N mineralizável, sendo superior ao máximo que a planta pode absorver, assim, parte do N ficará passível de lixiviação no perfil do solo, podendo contaminar águas subterrâneas (ANDRADE et al., 2010). Estes resultados diferem do encontrado por Guedes et al. (2006), em estudo da aplicação de diferentes doses de bio sólido no teor de nutrientes em *Eucalyptus grandis*, pois as maiores doses de aplicação (80 e 160 Mg^{ha}⁻¹) apresentaram teores de N significativamente maiores que as demais.

Em relação às menores doses, observam-se aumentos satisfatórios para o N na planta até o ponto assintótico, além de que, considerando apenas o conteúdo nas folhas, este se apresenta de forma linear, e a adubação com a dose de 0,8 L^{planta}⁻¹ proporcionou teor médio foliar de 19,01 g.kg⁻¹ de N (Tabela 4), superior ao indicado por Sorreano et al. (2012) para a o teor limitante (12,0 g.kg⁻¹).

A resposta linear ao conteúdo de nitrogênio nas folhas pode ser explicada pelo bio sólido apresentar grande quantidade de matéria orgânica, o que implica em altos teores de nitrogênio (Tabela 2), e este elemento fazer parte de proteínas, ácidos nucleicos e muitos outros importantes constituintes celulares (SOUZA; FERNANDES, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009), o que ocasiona o efeito linear para a adição de doses crescentes de bio sólido. Batista et al. (2013) avaliando a aplicação de adubações orgânicas em *Eucalyptus urophylla*, também encontraram maiores teores de N nas folhas nas maiores doses, visto que este elemento participa da constituição das moléculas de clorofila. Caldeira et al. (2012b), em estudo com *Toona ciliata*, indicaram para esta espécie substratos ricos em matéria orgânica, como os bio sólidos, uma vez que propiciam melhor crescimento, boa formação do sistema radicular e melhor balanço nutricional.

Pela Figura 6, constata-se também que o conteúdo total de fósforo na planta obedece a uma equação quadrática, em que a aplicação de 5,5 L^{planta}⁻¹ corresponde ao ponto assintótico da curva. Do mesmo modo, para o conteúdo nas folhas o efeito quadrático é igualmente observado, sendo a quantidade de 6,4 litros de bio sólido o ideal para a aplicação na *Ceiba speciosa*. Os estágios iniciais de crescimento das plantas são requeridos altos teores de P, atuando no arranque inicial do crescimento da parte

aérea e formação de raízes (ZONTA et al., 2006), o que pode ter influenciado nos resultados encontrados.

Sorreano et al. (2012) argumentam que para a *Ceiba speciosa*, teores de fósforo nas folhas abaixo de $1,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ indica a deficiência desse elemento. Portanto, nota-se que, para menor dose de bio sólido, o teor de fósforo médio nas folhas foi de $1,45 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Tabela 4), superior ao valor assinalado como limitante, o que mostra as vantagens da utilização do bio sólido na nutrição das plantas. Ao mesmo tempo, Caldeira et al. (2012b) mencionam que na adição do bio sólido, os teores de P no sistema radicular aumentam não somente pela adição do nutriente, como também por proporcionar maior porosidade ao substrato, melhorando as características físicas do mesmo.

A estabilização da curva de conteúdo de P nas plantas pode ser explicada pelo alto teor de zinco no bio sólido, que foi o mesmo utilizado e caracterizado por ABREU (2014). O P e o Zn são elementos que interagem entre si, exercendo influência na absorção pelas plantas. Quando estes elementos excedem o nível crítico, causam a toxidez, existindo antagonismo entre a absorção deles (ARAÚJO; MACHADO, 2006). A utilização de doses elevadas de bio sólido aumentou demasiadamente o teor de zinco, ocasionando a redução no conteúdo do P.

Fernandes et al. (2007) ponderando os teores de P em *Cordia goeldiana*, verificaram que a interação do P com o Zn, diminuiu o teor destes nas raízes, o que afetou o conteúdo total na planta. Resultados diferentes foram citados por Arthur et al. (2007), em que encontraram efeitos lineares no teor de fósforo para a aplicação da adubação orgânica em *Calophyllum brasiliense*, alegando que, com o aumento da matéria orgânica no solo, ocorreu o aumento do pH, por consequência, aumento da absorção de P, elevando estes valores muito além dos descritos para os solos da região onde foi realizado o estudo.

Apesar da adubação ter sido realizada com o objetivo de suprir as demandas por fósforo para as espécies nativas (GONÇALVES, 1995), observa-se que o conteúdo de N foi superior ao P (Figura 6). Isto acontece, provavelmente, pela aplicação do bio sólido misturado ao substrato utilizado nos vasos e devido uma proporção de N já está prontamente disponível para a planta, enquanto que para o P essa proporção não é percebida devido à baixa mobilidade no solo e a pequena quantidade inicial de raízes ativas, estando disponível, ou entrando em contato com o sistema radicular, somente após determinado tempo de aplicação, mostrando a importância da localização de aplicação da adubação (LANI et al., 1995; SILVA et al., 2008a).

O conteúdo total de potássio nas plantas apresentou efeitos quadráticos conforme as doses de bio sólido foram acrescidas (Figura 6). Embora grande quantidade de potássio seja removida no processo de tratamento de esgoto, ficando contido no efluente líquido, o bio sólido utilizado no experimento possui ao teor (Tabela 2), o que contribuiu para os valores encontrados. Resultados diferentes foi apresentado por Silva et al. (2008a), em que a adubação com o bio sólido não forneceu quantidade suficiente de K para plantas de *Eucalyptus grandis*, aos 36 meses de idade do povoamento. Os autores desse trabalho citam que a aplicação de bio sólido é eficaz desde que ocorra o acréscimo de potássio e boro no resíduo antes de realizar a adubação. Igualmente, Bazzo (2009), em estudo com o lodo de esgoto na nutrição de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*, notou que as concentrações de K foram baixas, explicando que o teor presente no substrato foi insuficiente, pois a grande solubilidade em água do elemento provocou facilidade na lixiviação, recomendando adubação complementar para suprir as necessidades da espécie.

A estabilização no acréscimo do conteúdo total de K nas plantas ocorreu na dose de 5,8 L \cdot planta $^{-1}$ (Figura 6). O aumento demasiado do potássio pelas adições progressivas da adubação orgânica não provoca o mesmo aumento para o conteúdo total deste elemento, visto que a principal forma de obtenção de K pelas raízes ocorre por meio da difusão, sendo necessário que o nutriente esteja dentro da área da rizosfera das plantas (MEURER, 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009). Assim, doses demasiadas do teor de K no solo não serão totalmente absorvidas pelo vegetal, pois, provavelmente não existe quantidade de raízes suficientes para alcançar todo o elemento disponível no substrato, o que provavelmente aumentará as perdas pelos processos de lixiviação.

A análise de regressão para o conteúdo de potássio nas folhas apresentou de forma linear, aumentando a quantidade conforme se acrescenta o biossólido. Este comportamento é devido o K está presente no vacúolo das células, principalmente relacionado aos estômatos foliares, tendo a função de regulador da perda de água (D'AVILA, 2008; TAIZ; ZEIGER, 2009).

A *Ceiba speciosa* possui teor de K limitante para folhas o valor de teor de 5,0 g \cdot kg $^{-1}$ (SORREANO et al., 2012), portanto, já com a menor dose, o biossólido foi capaz de suprir as necessidades desta espécie, pois aplicando 0,8 L \cdot planta $^{-1}$ atingiu o teor médio foliar de 6,32 g \cdot kg $^{-1}$ (Tabela 4),

A regressão para o conteúdo total de cálcio mostrou efeito quadrático, com ponto assintótico da curva na dosagem de 5,0 L \cdot planta $^{-1}$ de biossólido (Figura 6). Na análise do conteúdo foliar, a curva apresentou uma equação de raiz quadrada, em que aproxima a dose ideal das menores quantidades de biossólido aplicado. Do mesmo modo, a menor dose aplicada (0,8 L \cdot planta $^{-1}$) proporcionou teor médio foliar de 32,54 g \cdot kg $^{-1}$ (Tabela 4), equivalendo a 8,2 vezes mais do teor limitante para a espécie (SORREANO et al., 2012).

O acúmulo de cálcio nas menores doses possivelmente acontece devido nas maiores quantidades aplicadas de lodo de esgoto ocorrer o aumento nas concentrações de K, Mg e NH $_4^+$, provocando efeitos antagônicos para a absorção do Ca pelas raízes (CUNHA et al., 2006; VITTI et al., 2006; TAIZ; ZEIGER, 2009). Efeito antagônico na absorção do Ca para a adição de N foi verificado por Duboc (2005) em estudo com *Inga vera* e *Schinus terebintifolios*, onde os menores valores de cálcio foram encontrados quando se aplicou as maiores dosagens de adubo nitrogenado. Todavia, Cunha et al. (2006), avaliando *Acacia mangium* e *Acacia auriculiformis*, identificaram que as mudas produzidas em substrato composto pelo lodo de esgoto puro acumularam mais Ca que nos outros tratamentos, argumentando que a baixa concentração de K no resíduo acarretou na maior quantidade de cálcio.

A absorção de Ca por plantas de *Eucalyptus grandis* devido a aplicação do biossólido também foi encontrado por Guedes et al. (2006), constatando que o adicional de Ca aplicado via maior dose de biossólido não se refletiu em aumento do teor foliar do elemento, provavelmente, por causa da saturação do complexo de troca do solo, pois não encontraram diferenças significativas entre as doses de 80 e 160 Mg \cdot ha $^{-1}$. Além disso, estes autores mencionam que o teor foliar mais elevado de Ca foi encontrado nas folhas do eucalipto que recebeu 40 Mg \cdot ha $^{-1}$ de biossólido, a menor dosagem.

O magnésio também apresentou o conteúdo total de forma quadrática em relação à adubação com o biossólido. Para este elemento a dose ideal encontrada para a aplicação foi maior do que nos outros macronutrientes, correspondendo a 6,67 L \cdot planta $^{-1}$ de biossólido (4,2 vezes a dose em que foi baseado o experimento).

Magnésio, assim como o P, é adsorvido mais facilmente pelas argilas do solo, não ficando disponível para os vegetais (VITTI et al., 2006; NOVAIS et al., 2007), o

que demonstra a necessidade de dosagens de adubação mais elevada para atingir o valor máximo do conteúdo nas plantas. Outro fator importante é que o biofóssido apresenta maior teor de Ca^{2+} do que Mg^{2+} (Tabela 2), e estes dois íons competem pelo mesmo sítio de absorção (TAIZ; ZEIGER, 2009), assim aumento na adição de cálcio pode ter diminuído a absorção do magnésio.

Em relação ao conteúdo foliar de Mg nota-se que apresentou de forma linear (Figura 6), tendo na menor dose já suprido os efeitos limitantes para este elemento na espécie estudada, pois o teor mínimo na folha é de $1,4 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (SORREANO et al. 2012), e foi encontrado o valor médio de $4,14 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Grande parte desse resultado foi ocasionada pelo aumento nos teores de P do solo, onde, segundo Malavolta et al. (1997), existe efeito sinérgico entre a adsorção de P e Mg. Pandovani (2006), em estudo com as relações do Mg em *Inga uruguensis*, reportou o provável efeito sinérgico do Mg em relação ao P, que atua como ativador de ATPase de membrana, enzima envolvida no processo de absorção iônica. Para esse autor, plantas que apresentam baixos teores de Mg tenderam a apresentar também baixos teores de P. Além disso, o magnésio faz parte da estrutura molecular da clorofila, onde o aumento da disponibilidade do elemento irá propiciar maior formação desta molécula, por consequência maior acúmulo de Mg.

A análise dos efeitos da adição de biofóssido no conteúdo dos metais pesados absorvidos pelas plantas apresentou comportamento quadrático para o chumbo, cádmio e cromo, e equação de raiz quadrada para o níquel (Figura 7). Nota-se que existe um ponto máximo de absorção pelas plantas de *Ceiba speciosa*, indicando que, na aplicação exagerada da adubação com o biofóssido, o que também aumenta o acréscimo de metais pesados no solo, a espécie estudada não conseguiu extrair totalmente estes elementos, aumentando os riscos de contaminação ambiental.

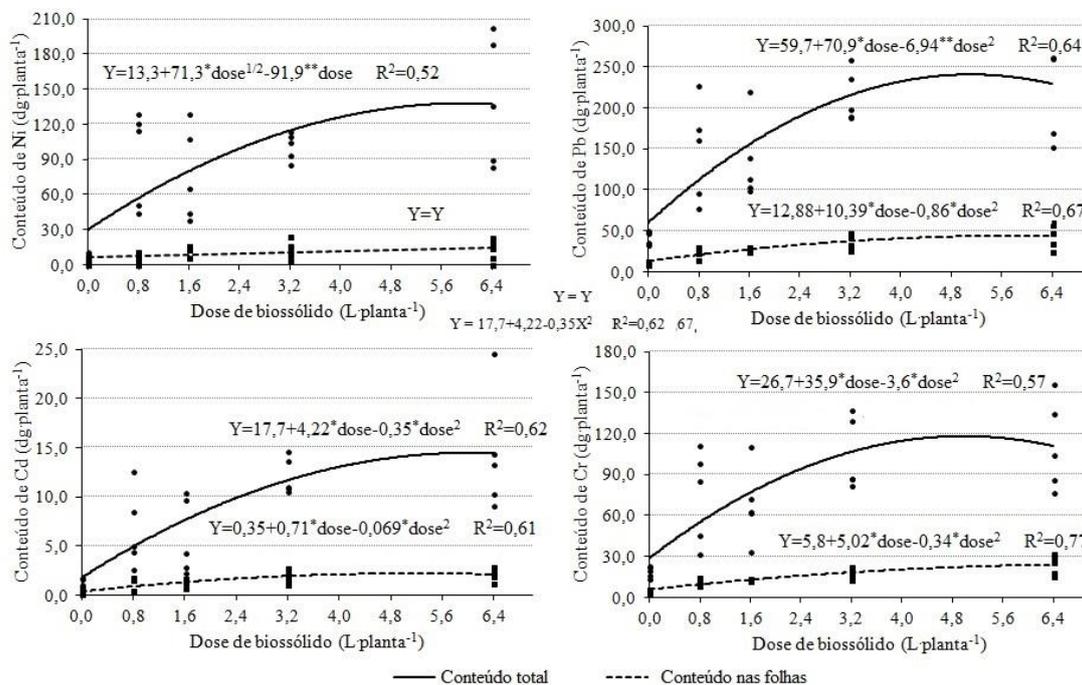


Figura 7: Conteúdo de diferentes metais pesados por planta de *Ceiba speciosa* em função de doses crescentes de adubação de plantio utilizando o biofóssido, após seis meses de plantio. * significativo a 1%, pelo teste t; ** significativo a 5%, pelo teste t. Cr, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1.

A utilização de super adubações com o biossólido deve ser evitada, visto que, com o excesso dos metais pesados acrescidos via fertilização, provocará danos fisiológicos nas plantas, como a inativação de enzimas e proteínas funcionais, em que muitas delas são responsáveis pela absorção de nutrientes, causando deficiências nutricionais e deixando estes nutrientes passíveis de lixiviação (OLIVEIRA; MATTIAZZO, 2001; BETTIOL; CAMARGO, 2006; SANTOS et al., 2006). A partir dessa análise, é possível inferir também que um dos pontos que influenciou as respostas no crescimento e balanço nutricional foi o acréscimo destes elementos, pois com o aumento da adubação acima do ponto crítico ocorreu a redução nestes valores (Figura 2, 3 e 6).

Outro aspecto a se avaliar é o teor de metais pesados que cause toxidez nas plantas. Apesar de não ter sido observado neste estudo, Santos et al. (2006) mencionam que a maioria dos vegetais apresentam nível de toxidez para Ni e Pb teores superior a $1,0 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, e para o Cd teor de $0,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ na planta. A aplicação da dose de $0,8 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$ proporcionou teor foliar médio de 2,96; 10,54 e $0,42 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ para os respectivos elementos, no entanto a paineira continuou obtendo ganhos em crescimento e nutrição, além de não apresentar sintomas de toxidez conforme aumentou a quantidade de biossólido aplicado, indicando a característica hiperacumuladora de metais pesados da *Ceiba speciosa*.

O comportamento da curva referente ao níquel apresentou equação de raiz quadrada (Figura 7), o que provoca a aproximação da dosagem de maior acúmulo aos menores valores de aplicação do biossólido. Este efeito ocorreu devido os teores de Ni no biossólido utilizado ser elevado, conforme caracterizado por Abreu (2014), assim, o ponto crítico de absorção pela *Ceiba speciosa* é atingido nas menores doses. Para o conteúdo nas folhas, os valores obtidos não foram significativos na análise de regressão.

Na avaliação do chumbo nas plantas, foram encontradas equações quadráticas tanto para o conteúdo total como para o conteúdo nas folhas, onde os pontos assintóticos das curvas ocorreram na dosagem de $5,1$ e $6,0 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$ de biossólido, respectivamente. Resultado similar foi descrito por Alves et al. (2008) em estudo com a aplicação de doses de Pb nas espécies *Desmanthus virgatus* e *Prosopis juliflora*, alegando que grandes quantidades provocou sensibilidade no sistema radicular das plantas, sendo que os teores máximos suportados por estas espécies foram iguais a $1,08$ e $0,07 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivamente.

Entre os metais pesados analisados o cádmio foi o que apresentou menor valor no conteúdo total nas plantas. A análise de regressão para este elemento também resultou em efeitos quadráticos para a adição de biossólido, onde a dose de maior absorção corresponde a $6,0 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$, para o conteúdo total, e $5,2 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$, para a quantidade presente nas folhas. A redução no acúmulo do elemento em doses mais elevadas provavelmente ocorreu por as espécies vegetais possuírem enzimas antioxidantes que limitam a absorção pelas plantas (BENAVIDES et al., 2005). Oliveira et al. (2001), em estudo com *Eichhornia crassipes* e *Salvinia auriculata*, encontraram comportamento diferente, onde o aumento nas doses de Cd para a planta, proporcionou aumento no conteúdo celular, principalmente nas raízes.

Os efeitos quadráticos demonstrados pelas curvas de conteúdo de cromo nas plantas apresentaram ponto de inflexão nos valores de $5,0 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$, para o conteúdo total, e $7,4 \text{ L}\cdot\text{planta}^{-1}$, para o conteúdo foliar. Porém, Oliveira e Mattiazzo (2001), na aplicação de lodo de esgoto em cana de açúcar, mencionaram que praticamente não ocorreram efeitos de doses crescentes sobre as concentrações desse elemento, mas

alegam que análises mais aprofundadas sobre o Cr se fazem necessárias, visto que, estudos sobre seus efeitos e níveis de toxicidade ainda são escassos.

Na comparação do conteúdo de nutrientes nas plantas entre a utilização de 1,6 L_{planta}⁻¹ de biossólido, adubação química e testemunha, observa-se que para todos os elementos, exceto o fósforo, o biossólido apresentou valores significativamente superiores (Tabela 5). Este resultado foi possível devido o biossólido possuir maior disponibilidade de nutrientes e ter proporcionado maior produção de matéria seca nas plantas (Figura 5), refletindo no conteúdo total, conforme discutido anteriormente.

Tabela 5: Conteúdo de nutrientes de plantas de *Ceiba speciosa*, em cultivo em vasos, aos seis meses de idade, submetidas a diferentes adubações de plantio

| Tratamento | N | P | K | Ca | Mg | Ni | Pb | Cd | Cr |
|---|------------------------|--------|--------|--------|--------|-------------------------|---------|--------|--------|
| | g planta ⁻¹ | | | | | cg planta ⁻¹ | | | |
| 1,6 L _{planta} ⁻¹ | 1,33 a | 0,17 b | 0,87 a | 2,13 a | 0,41 a | 7,75 a | 13,54 a | 0,60 a | 6,83 a |
| Testemunha | 0,62 b | 0,06 c | 0,73 a | 0,63 c | 0,17 b | 0,79 b | 4,36 b | 0,13 b | 1,91 b |
| 178g SS _{planta} ⁻¹ | 0,75 b | 0,41 a | 0,66 a | 1,08 b | 0,16 b | 2,16 b | 4,23 b | 0,13 b | 3,50 b |

SS = superfosfato simples. Médias da mesma espécie seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$). SS = superfosfato simples. N – N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P, K, Cr, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

Resultados similares foram encontrados por Guedes et al. (2006) em estudo com *Eucalyptus grandis*, onde o teor nutricional das plantas foram iguais entre o tratamento não fertilizado e a adubação química, e maiores quantidades nas plantas que receberam o biossólido. Da mesma forma, Scheer et al. (2012a), em estudo com *Lafoensia pacari*, mostraram que os maiores índices de eficiência no uso e acúmulo de nutrientes foram encontrados nos substratos a base de lodo de esgoto, e os menores na aplicação da fertilização mineral.

A maior quantidade de P nas plantas da adubação química é devido a fertilização ter acontecido com o superfosfato simples, rico em P₂O₅, em que possui alta solubilidade de P no solo (CAMPOS et al., 2013), enquanto que no biossólido a maior parte deste elemento está ligado às partículas de matéria orgânica, necessitando de maior período de tempo para ficar disponível para às plantas.

Na testemunha não ocorreu adição do elemento, ficando as plantas sujeitas apenas a fertilidade natural do solo, o que ocasionou valores no conteúdo de P aquém dos outros tratamentos. Paiva et al. (2009), em estudo com diferentes espécies florestais (*Schinus terebinthifolius*, *Myroxylon peruiferum*, *Cytarexylum myrianthum* e *Bauhinia forficata*) encontraram que a adubação mineral proporcionou maior crescimento que o biossólido e a testemunha, mas que é recomendada a aplicação ao solo de doses de lodo de esgoto desde que complementadas com K, visto que poderiam estimular mais o crescimento das mudas recém plantadas e substituir a adubação mineral, principalmente em espécies de crescimento lento.

4. 3. Características do solo

A adição do biossólido influenciou na maioria das características químicas do solo após seis meses da instalação do experimento. As doses de biossólido elevaram os teores de P e Ca (Figura 8), e aumentaram suas concentrações no solo até a aplicação de 6,07 e 7,18 L_{planta}⁻¹ respectivamente, revelando o efeito quadrático do teor destes elementos em relação à aplicação do fertilizante orgânico.

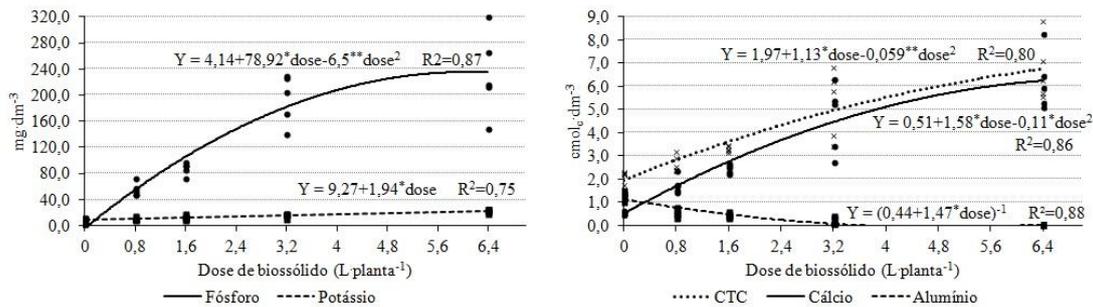


Figura 8: Teor de macronutrientes, alumínio e capacidade de troca catiônica no solo, em cultivo de *Ceiba speciosa* em vasos, em função de doses crescentes de biossólido por planta, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t; ** significativo a 5%, pelo teste t. P e K: extrator Mehlich -1; Ca e Al: extrator de KCl 1,0 N; CTC= capacidade de troca catiônica efetiva.

Era esperado o comportamento exponencial da concentração do P, pois o aumento nas adubações ocorreu de forma exponencial e baseando nas exigências agrônômicas deste nutriente (GONÇALVES, 1995). Possivelmente a redução na concentração de P ocorreu pelo fato do biossólido aumentar, mesmo que em pequena proporção numérica, o pH do solo, provocando a formação de compostos insolúveis juntamente com o cálcio (CORRÊA et al., 2010). Estudo desenvolvido por Guedes et al. (2006), com *Eucalyptus grandis*, mostra que o efeito da complexação do P deve-se a alcalinidade intrínseca do material aplicado, em função da adição de elevadas quantidades de CaO na fase de acondicionamento químico nas estações de tratamento de esgoto.

O teor de potássio no solo apresentou comportamento linear conforme as doses de aplicação do biossólido foram aumentadas (Figura 8). Como já discutido anteriormente, o biossólido utilizado no experimento apresenta alto teor de K (Tabela 2), assim, na elevação da dose do material, elevou-se os teores deste elemento no solo. Aumento no teor de potássio no solo foi encontrado por Nascimento et al. (2004) a partir da aplicação de 30 Mg ha⁻¹ em um Argissolo. Estes autores ainda mencionam que com a utilização do biossólido o aumento da massa seca das plantas sem que o risco de contaminação ambiental também aumente.

A capacidade de troca catiônica comportou-se de forma quadrática (Figura 8), em que o aumento nas doses do biossólido aumentará esta característica até a estabilização, sendo o teor máximo de CTC no solo, em dose superior a 6,4 litros. Com aumento do teor de matéria orgânica, normalmente altera o complexo coloidal no solo, criando cargas superficiais e conseqüentemente o aumento da CTC (ABREU JUNIOR et al., 2005). Diversos trabalhos mencionam ganhos de CTC, com aumento da quantidade de matéria orgânica no solo (COLODRO, 2005; GUEDES et al., 2006; BEZERRA et al., 2006).

Na avaliação do teor de Al do solo, após seis meses da aplicação do biossólido, observa-se que com a menor dose a redução na concentração foi drástica e após esta dosagem a taxa de diminuição é pequena (Figura 8), indicando o potencial que este composto possui na complexação deste elemento. Resultado similar foi encontrado por Guedes et al. (2006), onde na dosagem de 40 Mg ha⁻¹, correspondente a menor dose utilizada, não foi mais observado Al³⁺ trocável no solo. A aplicação do biossólido aumentou os teores de matéria orgânica, substância capaz de complexar o alumínio,

formando quelatos e reduzindo o efeito tóxico (NOVAIS et al. 2007; RAIJ, 2011; FREIRE et al., 2013), com isso diminuindo o teor de Al^{3+} presente no solo.

Pela análise de variância, constatou-se não haver diferenças significativas nos teores de N e Mg aos seis meses após o plantio das mudas, em função das doses crescentes de bio sólido que foram aplicadas no solo na época de plantio. A possível explicação para a falta de diferenças em relação a estes nutrientes é devido as características do solo e a demanda nutricional da espécie em questão, em que a maior parte destes elementos foi absorvida pelas plantas ou lixiviada juntamente com a água que percolada pelos vasos.

Os valores de pH também não obtiveram diferenças significativas em relação ao aumento da dosagem de bio sólido. Era esperado a redução do pH a medida que fosse aumentado a dose de bio sólido, pois Bezerra et al. (2006) explicam que a presença de ácidos orgânicos produzidos durante a decomposição microbiológica da matéria orgânica e aos processos de nitrificação tendem a reduzir estes valores. Entretanto, Guedes et al. (2006), mencionam que no tratamento do lodo de esgoto ocorre a adição de elevadas quantidades de CaO na fase de acondicionamento químico, proporcionando alcalinidade intrínseca aos bio sólidos, o que pode ter influenciado nos resultados.

Para todos os micronutrientes no solo, aos seis meses após a aplicação de bio sólido, a análise de regressão resultou em equações quadráticas (Figura 9), com ponto assintótico da curva no valor médio, em torno de $6,5 L\text{planta}^{-1}$. Assim como a concentração do fósforo e cálcio, o aumento do pH, mesmo em pequenas proporções, afeta a disponibilidade dos micronutrientes no solo, onde a alcalinidade provocada pela adição do bio sólido elevou até pontos próximos à neutralidade, o que pode favorecer a retenção de cátions pelo aumento de espécies hidrolisadas com a formação de complexos metálicos, tornando a disponibilidade deste elementos dependente do tipo de ligação química que se realiza no solo (SILVEIRA et al., 2008; CORRÊA et al., 2010). Christofolletti et al. (2012), ressaltam que a aplicação de bio sólido no solo deve ser analisada com cuidado, pois o composto apresenta quantidades elevadas de micronutrientes, e estes possuem valores críticos baixos, portanto poderá causar efeitos tóxicos tanto nos vegetais como na fauna do solo.

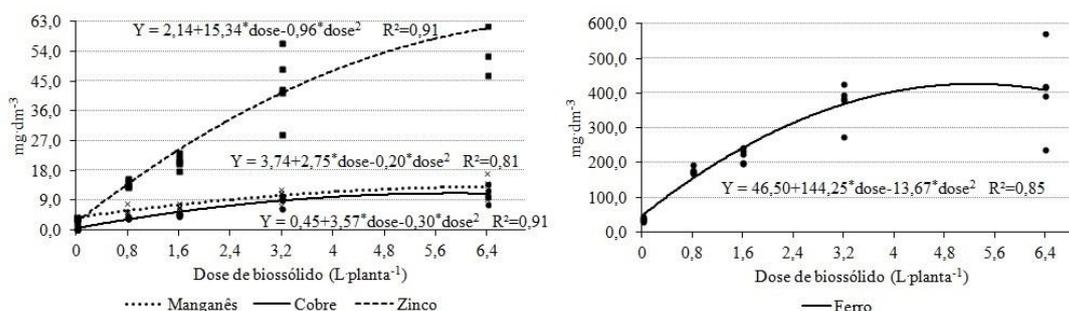


Figura 9: Teor de micronutrientes no solo, em cultivo de *Ceiba speciosa* em vasos, em função de doses crescentes de bio sólido por planta, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t. Cu, Mn, Fe, Zn: extrator Mehlich-1.

Os teores dos metais pesados apresentaram equações quadráticas para o incremento nas doses do bio sólido (Figura 10), exceto para o cromo, o qual não foi identificado nas análises químicas. Mesmo na máxima retenção de metal pesado, provocada pela adição do bio sólido, os teores apresentados foram inferiores aos estipulados pela Resolução n° 375 do Conselho Nacional do Meio Ambiente –

CONAMA (BRASIL, 2006), assegurando a possibilidade de uso deste material na fertilização de povoamentos florestais.

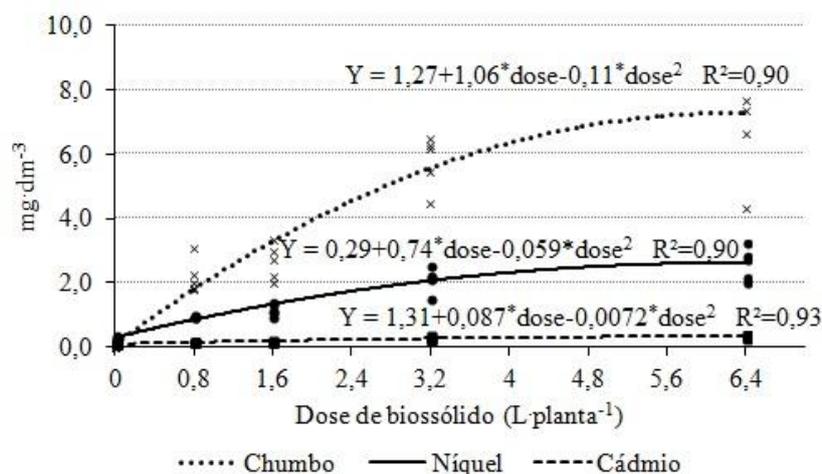


Figura 10: Teor de metais pesados no solo em cultivo de *Ceiba speciosa* em vasos, em função de doses crescentes de biossólido por planta, aos seis meses após o plantio. * significativo a 1%, pelo teste t. Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1.

Bovi et al. (2007), em estudo com a adição de lodo de esgoto como forma de adubação de manutenção em *Bactris gasipaes* não encontraram equações significativas para os teores de metais pesados no solo. Guerrini e Trigueiro (2004), em estudo sobre os atributos químicos e físicos de substratos a base de biossólido e casca de arroz carbonizada, encontraram que o aumento na proporção do resíduo, os teores de metais pesados também foram aumentados, porém ainda se mantendo abaixo do teor determinado pela legislação (BRASIL, 2006).

Na comparação entre biossólido e a adubação química sobre as características do solo após seis meses da fertilização, constata-se que na dose padrão ($1,6 \text{ L} \cdot \text{planta}^{-1}$) de biossólido não proporcionou diferenças significativas do teor de nitrogênio entre os três tratamentos analisados (Tabela 6). A matéria orgânica contida no biossólido possui alta estabilidade, com degradação lenta, provavelmente, até a idade avaliada os processos de decomposição não tinham acontecido com intensidade suficiente para o aumento do teor no solo, pois, devido aos processos de mineralização, o biossólido apresenta disponibilização mais lenta em comparação à adubação mineral (SILVA et al., 2008a). Outro fato importante foi que a *Ceiba speciosa* apresentou conteúdo de nitrogênio elevado nos tratamentos com o biossólido (Tabela 5), dessa forma, possivelmente, a maior parte do nitrogênio disponibilizado com o composto orgânico pode ter sido absorvida pelo vegetal.

A falta de diferenças significativas entre os tratamentos também pode ter sido ocasionada pela percolação do N para fora dos recipientes por meio da água que saía dos baldes nos dias de maior precipitação, visto que, no processo de aplicação dos tratamentos, os fertilizantes foram homogenizados ao solo, o que provavelmente aumentou a taxa de mineralização do N-orgânico presente no biossólido, permitindo que o excesso nitrogênio não absorvido pela planta ficasse passível de lixiviação. No entanto, o N em excesso da aplicação do biossólido geralmente é imobilizado ou a incorporado a fração residual, ficando em formas mais resistentes à biodegradação (VELASCO-MOLINA et al., 2006), o que sugere que o resultado foi provocado pela absorção pelas plantas e não pelos processos de lixiviação, como discutido anteriormente. Diferente destes resultados foi mostrado por Ferraz (2009), analisando o

solo de povoamento de *Eucalyptus grandis*, em que obteve aumento no teor de N após três anos da aplicação de 15 Mg·ha⁻¹ do lodo de esgoto em relação à adubação química.

Tabela 6: Teor de nutrientes no solo, em cultivo de *Ceiba speciosa*, aos seis meses de idade, submetida a dois tipos de adubação de plantio e sem fertilização

| Tratamento | ----- Macronutrientes ----- | | | | | | | |
|----------------------------|---------------------------------|---------------------|---------|--------|-------------------------------------|------------------|------------------|--------|
| | pH H ₂ O | N | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | CTC |
| | | mg·dm ⁻³ | | | mmol _c ·dm ⁻³ | | | |
| 1,6 L·planta ⁻¹ | 4,9 a | 1,99 a | 88,0 b | 11,8 a | 25,0 a | 4,0 a | 5,0 b | 33,0 c |
| Testemunha | 4,6 b | 1,73 a | 2,0 c | 10,2 a | 6,0 b | 3,0 a | 13,0 a | 49,0 b |
| 178gSSplanta ⁻¹ | 4,6 b | 2,18 a | 210,8 a | 6,8 b | 30,0 a | 1,0 b | 3,0 b | 78,0 a |
| Tratamento | ----- Micronutrientes ----- | | | | ----- Metais pesados ----- | | | |
| | Cu | Mn | Fe | Zn | Cr | Ni | Cd | Pb |
| | ----- mg·dm ⁻³ ----- | | | | | | | |
| 1,6 L·planta ⁻¹ | 4,8 a | 7,2 a | 220,6 a | 21,0 a | 0,08 a | 1,2 a | 0,2 a | 2,7 a |
| Testemunha | 0,3 b | 3,7 b | 38,3 b | 3,2 b | 0,01 b | 0,3 c | 0,1 a | 0,0 b |
| 178gSSplanta ⁻¹ | 0,5 b | 2,6 b | 53,9 b | 3,2 b | 0,06 a | 0,6 b | 0,1 a | 0,1 b |

SS = superfosfato simples. Para cada classe de nutrientes, médias da mesma espécie seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao teste de Tukey ($P \geq 0,95$). SS superfosfato simples. pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; N – N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P, K, Cu, Mn, Fe, Zn, Cr, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 N – pH 7,0; SB= soma de bases trocáveis; CTC= capacidade de troca catiônica efetiva.

O biossólido proporcionou valores significativamente superior de pH, K e micronutrientes (Tabela 6). O maior valor do pH para o biossólido é devido aos processos de estabilização do resíduo nas estações de tratamento de esgoto, o que ocorre a adição de grandes quantidades de CaO (GUEDES et al., 2006; ABREU, 2014). Para o K e micronutrientes, o biossólido contém maior quantidade do que o superfosfato simples (Tabela 2), assim, em sua aplicação os teores dos elementos foram aumentados, proporcionando valor superior.

Os teores de P e Ca²⁺, quando se utilizou a adubação química, foram significativamente superiores aos valores apresentados pelo tratamento com o biossólido e a testemunha (Tabela 6). Isto aconteceu pelo SS ser rico principalmente em fósforo e cálcio (CAMPOS et al., 2013), aumentando o teor no solo.

Analisando a capacidade de troca catiônica, a testemunha foi a única que apresentou valor significativamente inferior. Este comportamento é possível pela fertilização elevar a quantidade de cargas no solo, favorecendo o aumento da CTC. Para Al³⁺, o tratamento que não recebeu adubação foi o que obteve maior concentração. Tanto o biossólido como o SS possui a característica de complexar o alumínio, o primeiro pela grande quantidade de matéria orgânica e o fertilizante químico pelos altos teores de cálcio, assim reduzindo o valor e os efeitos tóxicos do Al (NOVAIS et al. 2007; RAIJ, 2011; FREIRE et al., 2013).

No teor de metais pesados, cromo e cádmio não apresentaram diferenças significativas entre a adubação orgânica e a fertilização mineral, sendo os valores de Ni e Pb significativamente superiores no tratamento com o biossólido. O mais comum é que para todos os metais pesados o teor ser mais alto no biossólido, pois este material possui maior quantidade em sua composição. Trabalhos indicando o aumento de metais

pesados no solo com a aplicação do lodo de esgoto como adubação são encontrados na literatura (ANJOS; MATTIAZZO, 2000; OLIVIRA; MATTIAZZO, 2001; SILVA et al., 2002; ABREU JUNIOR, 2005; BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE, 2010), porém sempre em concentrações inferiores a estipulada na legislação (BRASIL, 2006).

Na análise conjunta das concentrações de nutrientes e características do solo é possível afirmar que os valores destes componentes ainda se apresentam de forma elevada para a idade de seis meses quando se utilizou o biossólido como fertilizante de plantio. Segundo Nave et al. (2009), na fase de implantação da restauração florestal o usual é a utilização de adubos químicos ricos em P_2O_5 , o que, posteriormente, se faz necessário a aplicação de adubação de cobertura para a complementação de nitrogênio e potássio, assim suprimindo as demandas nutricionais das plantas e favorecendo a formação do povoamento. Portanto, utilizando o biossólido no plantio, o número de intervenções para a fertilização e suprimento das demandas nutricionais das plantas é menor, pois o teor dos nutrientes se mantém alto, diminuindo os custos finais para a obtenção do sucesso na restauração florestal.

Contudo, não é possível garantir que os efeitos do biossólido utilizado neste estudo estarão contidos em outros biossólidos, podendo, assim, ocorrer alteração na resposta da espécie em razão de sua aplicação. A alteração nos resultados pode decorrer do fato de os teores de nutrientes, metais pesados e aspectos físicos do material ter ampla variação nos lotes das diferentes regiões, sendo dependente da composição do esgoto, do tipo de tratamento em que é produzido e da época do ano.

5. CONCLUSÃO

A dose ideal para o maior crescimento das plantas de *Ceiba speciosa* ficou entre 3,9 e 4,2 litros de biossólido por planta.

A aplicação da menor dose de biossólido já é capaz suprir as demandas nutricionais da *Ceiba speciosa* e proporcionou crescimento satisfatório às plantas.

As respostas em crescimento das plantas de *Ceiba speciosa* não são proporcionais ao aumento da dose de biossólido.

O biossólido garante a maior disponibilidade de nutrientes no solo e nutrição das plantas em relação à adubação com superfosfato simples após seis meses do plantio em vasos.

As plantas de *Ceiba speciosa* não responderam a adubação com superfosfato simples, na dose utilizada. Outros estudos envolvendo a comparação entre o biossólido e fertilizantes químicos com maior diversidade de elementos são necessários.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais**. 2014. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. In: **Tópicos de Ciência do Solo**, 2005, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2005, p. 392-470.

ALVES, J. C.; SOUZA, A. P.; PÔRTO, M. L.; ARRUDA, J. A.; TOMPSON JÚNIOR, U. A.; SILVA, G. B.; ARAÚJO, R. C., SANTOS, D. Absorção e distribuição de

chumbo em plantas de vetiver, jureminha e algaroba. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1329-1336, 2008.

ANDRADE, C. A.; BOLEIRA, R. C.; PIRES, A. M. M. Nitrogênio presente em lodo de esgoto e a resolução n° 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n° 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, p. 157-170.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolo repetidamente tratados com bio sólido. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 769-776, 2000.

ARAÚJO; A. P.; MACHADO, C. T. T. Fósforo. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.253-280.

ARTHUR, A. G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 843-850, 2007.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de bio sólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 321-330, 2009.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J. Uso agrícola do lodo de esgoto: influência nas propriedades químicas e físicas do solo, produtividade e recuperação de áreas degradadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 565-580, 2006.

BARONY, F. J. **Bio sólido: produção, efeitos no crescimento de mudas de eucalipto e avaliação de risco à saúde humana**. 2011. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BATISTA, R. O.; MARTINEZ, M. A.; PAIVA, H. N.; BATISTA, R. O.; CECON, P. R. Efeito da água residuária da suinocultura no desenvolvimento e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* produzidas em substrato de resíduos sólidos urbanos. **Revista Ambiente e Água**, v. 8, n. 2, p. 180-191, 2013.

BAZZO, J. F. **Utilização de composto orgânico de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de eucalipto**. 2009. 74f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

BENAVIDES, M. P.; GALLEGO, S. M.; TOMARO, M. L. Cadmium toxicity in plants. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 1, p. 21-34, 2005.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O (Eds.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, 347p.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

BOVI, M. L. A.; GODOY JUNIOR, G.; COSTA, E. A. D.; BERTON, R. S.; SPIERING, S. H.; VEGA, F. V. A.; CEMBRANELLI, M. A. R.; MALDONADO, C.

A. B. Lodo de esgoto e produção de palmito em pupunheira. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Viçosa, v. 31, p.153-166, 2007.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – CONAMA. Resolução nº 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

BUOSI, D.; FELFILL, J. M. Recuperação de áreas contaminadas por pesticidas organoclorados na Cidade dos Meninos, Município de Duque de Caxias, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 465-470, 2004.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioveana* Baill). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 90, n. 93, p. 015-022, 2012a.

CALDEIRA, M. V. W.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; DELARMELINA, W. M.; SPERANDIO, H. V.; TRAZZI, P. A. Biossólido como substrato para a produção de mudas de *Toona ciliata* var. *australis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1009-1017, 2012b.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012c.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 31-39, 2013a.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. O.; SILVA, A. G. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013b.

CALDEIRA JUNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMPOS, D. V. B.; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A.; DUQUE, F. F.; DE-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. A.; ANJOS, L. H. C. Adubos e corretivos. In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, 2013, p. 107-130.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. 2ª edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

- CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, v. I e II, 2003. 1039 p.
- CHRISTOFOLETTI, C. A.; FRANCISCO, A.; FONTANETTI, C. Biosolid soil application: toxicity tests under laboratory conditions. **Applied and Environmental Soil Science**, New York, v. 2012, 09p., 2012.
- COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. 2005. 102f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- CORRÊA, R. S.; SILVA, L. C. R.; BAPTISTA, G. M. M.; SANTOS, P. F. Fertilidade química de um substrato com lodo de esgoto e composto de resíduos domésticos. **Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 5, p. 538-544, 2010.
- COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M (Eds.). **Uso agrícola de lodo de esgoto – Avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, 408p.
- CUNHA, A. M.; CUNHA, G. M.; SARMENTO, R. A.; CUNHA, G. M.; AMARAL, J. F. T. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp.. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 207-214, 2006.
- D'AVILLA, F. S.; PAIVA, H. N.; LEITE, H. G.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 1, p. 13-19, 2011.
- DECHEN A. R.; NACHTIGALL, G. R. Elementos essenciais e benefícios às plantas superiores In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 01-06.
- DUBOC, E. **Desenvolvimento inicial e nutrição de espécies arbóreas nativas sob fertilização, em plantios de recuperação de áreas de Cerrado degradado**. 2005. 173f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.
- FAUSTINO, R.; KATO, M. T.; FLORÊNCIO, L.; GAVAZZA, S. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Senna slamea* Lam.. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, suplemento, p. 278-282, 2005.
- FERNANDES, A. R.; PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G.; MIRANDA, J. R. P. Crescimento e absorção de nutrientes por mudas de freijó (*Cordia goeldiana* Huber) em função de doses de fósforo e de zinco. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 599-608, 2007.
- FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 432p.
- FERRAZ, A. V. **Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de *Eucalyptus grandis*, adubados com lodo de esgoto produzidos em diferentes estações de**

tratamento da região metropolitana de São Paulo. 2009. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agronomia "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, A. F.; SANTOS, L. D. T. (Eds.). **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto.** 2010, Viçosa: Editora da UFV, 2010, 140p.

FONSECA, R. W. S. **Caracterização do solo e relação com o crescimento inicial de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*.** 2010. 25f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro.** 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, 2013, 430p.

GHINI, R.; LEONI, C. **Uso de lodo de esgoto para indução de supressividade de solos a *Phytophthora nicotianae* em citros.** 2005, Jaguariúna: EMBRAPA, n. 10, p. 1-5, 2005. (Circular Técnica).

GONÇALVES, J. L. M. **Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica.** 1995, Piracicaba: ESALQ, n. 15, p. 1-23, 1995. (Série Documentos Florestais).

GONÇALVES, J. L. M. ; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal.** 2000, Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestal, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 107-111, 1985.

GONÇALVES, J. L. M.; MENDES, K. C. F. S.; SASAKI, C. M. Mineralização de nitrogênio em ecossistemas florestais naturais e implantados do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 601-616, 2001.

GUEDES, M. C.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição de eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 267-280, 2006.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por biossólido e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Recuperação das Áreas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000. p. 249-269.

LANI, J. L.; CÁRDENAS, A. C.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. Efeito de doses e localização de fósforo sobre o crescimento de mudas de eucalipto. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 42, n. 243, p. 497-506, 1995.

LISBOA, A. C. **Estoque de carbono em área de recomposição florestal com diferentes espaçamentos de plantio**. 2010. 48f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

LOPES, F. A.; SILVA, D. P.; GUERREIRO, J. C. O uso de biossólido em espécies florestais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 3, n. 6, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 6ª Edição. 2010, Nova Odessa: Editora Plantarum, 2010, 369p.

MACEDO, J. R.; SOUZA, M. D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Atributos físicos e hídricos em solo tratado com lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O (Eds.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 193-206.

MAIA, C. M. B. F. Uso de casca de *Pinus* e lodo biológico como substrato para a produção de mudas de *Pinus taeda*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 39, p. 81-92, 1999.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P.; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011.

MEURER, E. J. Potássio In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 281-298.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, 385-392, 2004.

NASCIMENTO, D. F.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 159-165, 2012.

NAVE, A. G.; BRANCALION, P. H. S.; COUTINHO, E.; CÉSAR, R. G. Descrições das ações operacionais de restauração. In: RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I (Eds.). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica – Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 2009, São Paulo: LERF, 2009, p. 180-242.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTURUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 2ª Edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007.

OLIVEIRA, D. Q. L.; CARVALHO, K. T. G.; BASTOS, A. R. R.; OLIVEIRA, L. C. A.; MARQUES, J. G. S. M.; NASCIMENTO, R. S. M. P. Utilização de resíduos da indústria de couro como fonte nitrogenada para o capim-elefante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 417-424, 2008.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001.

OLIVEIRA, J. A.; CAMBRAIA, J.; CANO, M. A. O.; JORDÃO, C. P. Absorção e acúmulo de cádmio e seus efeitos sobre o crescimento relativo de plantas de aguapé e de salvinha. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 329-341, 2001.

PAIVA, A. V.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; FERRAZ, A. N. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n.84, p. 499-511, 2009.

PADOVANI, V. C. R. **Composto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de árvores nativas e exóticas**. 2006. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W, J. Valor agregado ao lodo de esgoto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 121-129, 2009.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2011, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011, 420p.

ROCHA, G. N.; GONÇALES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*, fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 623-639, 2004.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I (Eds). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica – Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 2009, São Paulo: LERF, 2009. 259p.

SANTOS, F. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Mecanismos de tolerância de plantas à metais pesados In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p.419-432.

SANTOS, J. Z. L.; RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; CORTE, E. F. Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 55-65, 2012a.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Composto de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 613-621, 2012b.
- SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Crescimento de mudas de *Prunus brasiliensis* (Cham. & Schltdl.) D. Dietr. em substratos à base de lodo de esgoto compostado e fertilizante mineral. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 4, p. 739-747, 2012c.
- SILVA, J. E.; RESCK, D. V. S.; SHARMA, R. D. Alternativa agronômica para o bio-sólido produzido no Distrito Federal. I – Efeito na produção de milho e na adição de metais pesados em Latossolo no Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 487-495, 2002.
- SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; MORREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratados com diferentes doses de lodo de esgoto úmido e seco, condicionado com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008a.
- SILVEIRA, M. L.; ALLEONI, L. R. F.; CHANG, A. Condicionadores químicos de solo e retenção e distribuição de cádmio, zinco e cobre em Latossolos tratados com bio-sólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 1087-1098, 2008.
- SOCCOL, V. T.; PAULINO, R. C.; PEREIRA, J. T.; CASTRO, E. A.; COSTA, A. O.; HENNING, L.; ANDREOLI, C. Organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução nº 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto – Avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, p. 83-112.
- SORREANO, M. C. M.; RODRIGUES, R. R.; BOARETTO, A. E. **Guia de nutrição para espécies florestais nativas**. 2012, São Paulo: Oficina de Textos, 2012, 256p.
- SOUZA, S. R.; FERNANDES, M. S. Nitrogênio In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 215-252.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª Edição. 2009, Porto Alegre: Artmed, 2009, 848p.
- TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012.
- VELASCO-MOLINA, M.; MATTIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de bio-sólido em plantio florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 25-35, 2006.

VILLA, E. B. **Aspectos silviculturais e ecológicos em áreas de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio**. 2012. 71f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VITTI, G. C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 299-326.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 07-52.

CAPÍTULO III

BIOSSÓLIDO COMO FERTILIZANTE DE PLANTIO EM ESPÉCIES FLORESTAIS DA MATA ATLÂNTICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO

RESUMO

O bio sólido, produto oriundo do tratamento do esgoto urbano, é um material rico em matéria orgânica e nutrientes. Seu uso florestal e na agricultura vem sendo uma das alternativas viáveis para a disposição deste resíduo e para suprir as demandas nutricionais das culturas, reduzindo os custos com a fertilização química. O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de *Peltophorum dubium*, *Ceiba speciosa* e *Sapindus saponaria* e a concentração de nutrientes nas diferentes camadas do solo sob a aplicação de doses crescentes de bio sólido e da fertilização química. O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, sendo composto por cinco tratamentos com doze repetições, de uma planta. Os tratamentos consistiram em doses crescentes de bio sólido (1,0; 2,0; e 3,0 L^{cova}⁻¹), fertilização química (aplicação de 210 gramas de superfosfato simples - SS por cova), e a testemunha absoluta, aplicados na cova, no momento do plantio. As variáveis de crescimento mensuradas foram: altura, diâmetro ao nível do solo e área de copa. O bio sólido favoreceu o crescimento em altura, diâmetro ao nível do solo e área de copa das espécies estudadas, sendo as maiores respostas quando se utilizou a maior dose (3,0 L^{planta}⁻¹) como adubação de plantio. O bio sólido não proporcionou maiores concentrações de nitrogênio, fósforo, potássio e metais pesados, em relação à profundidade do solo. Os teores dos metais pesados no solo com a adição da maior dose de bio sólido não ultrapassaram os limites de acumulação estipulados pela legislação. As plantas, das três espécies, obtiveram poucas respostas à adubação com superfosfato simples.

Palavras-chave: lodo de esgoto, paineira, saboneteira e farinha seca.

ABSTRACT

Biosolid, a product originating from treated urban sewage, is a material rich in organic matter and nutrients. Its use in forestry and agriculture has been one of the viable alternatives for residual disposal, meeting the nutritional demand of species, and reducing costs of chemical fertilization. The objective of this research was to evaluate the growth of *Peltophorum dubium*, *Ceiba speciosa* and *Sapindus saponaria* and nutrient concentration throughout different layers of soil with the addition of increasing doses of biosolid and chemical fertilizer. The experiment was done under entirely randomized design, which was composed of five treatments with twelve replicates of each plant. The treatments consisted of increasing doses of biosolid (1.0; 2.0; e 3.0 L^{planting hole}⁻¹), chemical fertilizer (application of 210 grams of simple superphosphate per planting hole), and the absolute control, applied in the planting hole, at the time of planting. The growth variables measured were: height, diameter at the soil level, and the crown area. The biosolid encouraged growth in height, diameter at the soil level, and the crown area of the species studied, with the highest responses occurring with the highest dose (3.0 L^{plant}⁻¹) as planting fertilizer. The biosolid did not provide higher concentrations of nitrogen, phosphorus, potassium, or heavy metals, in relation to soil depth. The level of heavy metals in the soil with the highest dose of biosolid did not exceed the accumulation limits stipulated by legislation. Each of the three species revealed little response to fertilization with simple superphosphate.

Key words: sludge sewage, *Ceiba speciosa* (paineira), *Sapindus saponaria* (saboneteira) and *Peltophorum dubium* (farinha seca).

1. INTRODUÇÃO

O bio sólido, produto oriundo do tratamento do esgoto urbano, é um material rico em matéria orgânica e nutrientes. Seu uso florestal e na agricultura vem sendo uma das alternativas viáveis para a disposição deste resíduo e para suprir as demandas nutricionais das culturas, reduzindo os custos com a fertilização química. No entanto, este composto pode apresentar riscos à saúde humana e ao meio ambiente em função dos contaminantes advindos da água que lhe deu origem.

Os principais possíveis contaminantes presentes no bio sólido são os metais pesados que, dependendo da origem do material, podem comprometer o solo e o lençol freático, e possuem grande potencial de serem incorporados a cadeia alimentar, resultando em danos diretos a população. Em virtude do risco ambiental, relacionado ao uso do bio sólido em sistemas agrícolas e florestais, os órgãos de fiscalização ambiental estipularam concentrações máximas permitidas de metais pesados nos resíduos e o acúmulo máximo no solo para a utilização e aplicação do composto (BRASIL, 2006).

O uso do bio sólido na restauração florestal é uma das formas de minimizar potenciais riscos de contaminação ambiental e de danos à saúde humana, pois a frequência e quantidade de fertilizantes aplicados são menores que nas culturas agrícolas (RODRIGUES et al., 2009) e o produto gerado não se destina ao consumo direto do homem. Todavia, os riscos de eutrofização pela lixiviação de nutrientes, como o nitrogênio, provocada por aplicação exagerada de bio sólido pode existir.

A utilização do bio sólido na restauração florestal deve-se levar em consideração a respostas das plantas a esse tipo de fertilização, visto que os custos de transporte e aplicação são mais elevados que na adubação química convencional, e não é garantia de melhor crescimento das espécies utilizadas. Dessa forma, conhecer o comportamento dos nutrientes e metais pesados no solo pode nortear a aplicação do bio sólido, com doses ideais para o bom crescimento das plantas e redução dos riscos de contaminação, garantindo a segurança ambiental e o sucesso do empreendimento.

2. OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento de *Peltophorum dubium* (Spreng.), *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna e *Sapindus saponaria* L. e a concentração de nutrientes nas diferentes camadas do solo sob a aplicação de doses crescentes de bio sólido e da fertilização química.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido em área de reflorestamento da Pequena Central Hidrelétrica Santa Rosa S.A., localizada no Município de Bom Jardim, Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw - tropical chuvoso com inverno seco e verão chuvoso (BRASIL, 1980). A precipitação média anual é de 1.402 mm. A altitude média da região é de 530 metros, com temperatura média mínima anual de 16,0 °C no mês de julho, e média máxima de 28,0 °C no mês de fevereiro, com temperatura média anual de 22,0 °C (OLIVEIRA, 2010).

A vegetação predominante é do tipo de floresta ombrófila densa (VELOSO et al., 1991). A região apresenta relevo ondulado com afloramentos rochosos e domínio de solos das classes Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo húmico, Argissolo Vermelho-Amarelo, Argissolo álico ou distrófico, Cambissolo Háplico ou distrófico e

Cambissolo húmico, Neossolo Flúvico, Neossolo Litólico e Afloramento Rochoso (EMBRAPA, 2006).

O experimento foi implantado no dia 29 de janeiro de 2013, em área de pastagem abandonada, dominada por espécies infestantes pertencentes ao gênero *Urochloa* spp., localizada no terço médio de uma encosta, cujo solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO AMARELO de textura argilosa (SANTOS, 2013), em que a análise química da camada de 0-25 cm é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1: Análise química do solo (camada de 0-25 cm) em área experimental de reflorestamento da PCH Santa Rosa S.A., Município de Bom Jardim, RJ

| pH | P | K | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | SB | CTC |
|------------------|---------------------------------|-----|---|------------------|------------------|------|------|------|
| H ₂ O | ----- mg·dm ⁻³ ----- | | ----- mmol _c ·dm ⁻³ ----- | | | | | |
| 5,7 | 3,3 | 115 | 13,0 | 5,0 | 0,0 | 33,0 | 21,0 | 21,0 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich 1; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N; H+Al: extrator acetato de cálcio 0,5 N – pH 7,0; SB= soma de bases trocáveis; CTC= capacidade de troca catiônica efetiva.

O biossólido utilizado no experimento é proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Alegria, localizada no bairro Caju, cidade do Rio de Janeiro - RJ. O material foi disponibilizado pela Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro (Nova CEDAE). O esgoto tratado pela ETE Alegria é derivado de áreas urbanas domiciliares e comerciais. O processo de tratamento inicia-se com a passagem dos resíduos constituídos de apenas 1% de sólidos por decantadores primários para remoção da água, logo após o mesmo é direcionado a adensadores de onde sai com teor de 5% de sólidos, indo, após, para digestores anaeróbios onde ocorre redução de volume do material, da concentração de patógenos, do risco de putrefação e emissão de odores. Na sequência o lodo de esgoto passa por centrifugas resultando em um material com teor de sólidos de 30%, depois é conduzido ao secador térmico, onde a temperatura pode alcançar 200° C, e o lodo sai com teor de sólidos de 80 a 90%. Por fim o mesmo é depositado em um local seco e arejado até a completa compostagem (ABREU, 2014). A Análise química do biossólido se encontra na Tabela 2.

Tabela 2: Análise química de biossólido da estação de tratamento de esgoto (ETE), Caju, Cidade do Rio de Janeiro

| pH | P | K ¹⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | Al ³⁺ | H+Al | Corg | N |
|------------------|---------------------------------|-----------------|---|------------------|------------------|--------------------------|-------|------|
| H ₂ O | ----- mg·dm ⁻³ ----- | | ----- mmol _c ·dm ⁻³ ----- | | | -- g·dm ⁻³ -- | | |
| 5,0 | 87 | 144 | 240,0 | 67,0 | 0,0 | 25,0 | 137,2 | 20,0 |

pH em água, KCl e CaCl₂ – Relação 1:2,5; P e K: extrator Mehlich⁻¹; Ca, Mg e Al: extrator de KCl 1,0 N.

O experimento foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, sendo composto por cinco tratamentos com doze repetições, de uma planta. As espécies utilizadas foram *Peltophorum dubium* (Spreng.) (farinha-seca), *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (paineira) e *Sapindus saponaria* L. (saboneteira), de mudas produzidas em sacos plásticos de 14 x 20 cm.

O substrato utilizado para a formação das mudas foi esterco bovino curtido e subsolo argiloso na proporção volumétrica de 1:1. No momento do plantio, as mudas possuíam altura de aproximadamente 80,0; 35,0 e 60,0 cm para paineira, farinha seca e saboneteira, respectivamente.

Os tratamentos consistiram em doses crescentes de biossólido (1,0; 2,0; e 3,0 L'cova⁻¹), fertilização química (aplicação de 210 gramas de superfosfato simples - SS por cova), e a testemunha absoluta, aplicados no momento do plantio.

Como preparo do solo para o plantio, as covas foram marcadas em curvas de nível, obedecendo ao espaçamento de 3,2 x 1,7 m. Em seguida, foi aplicado herbicida à base de glyphosate em área total (dosagem de 4,0 L'ha⁻¹). Após 20 dias, as covas foram abertas, manualmente, com a dimensão de 30 x 30 x 30 cm. No dia do plantio foram aplicados os tratamentos, em que os fertilizantes foram adicionados ao solo retirado da cova, homogenizados e preenchimento da cova com a mistura, em seguida o plantio propriamente dito das mudas.

Os tratos culturais envolveram controle das formigas cortadeiras (antes, durante e até cinco meses após plantio) e controle das plantas daninhas, com coroamento e roçada em abril de 2013 e março de 2014, e a aplicação de glyphosate em dezembro de 2013 de modo a manter a área sempre limpa e minimizar os efeitos da competição com outras plantas.

Para a avaliação do crescimento, as variáveis altura e diâmetro ao nível do solo (DNS) foram medidas a cada quatro meses, até a idade de 16 meses após o plantio.

Aos 12 meses de idade do povoamento, além das variáveis de crescimento altura e DNS, mediu-se, também, a largura transversal (L1) e longitudinal (L2) das plantas, para a realização do cálculo de área de copa (C_i), considerando esta como uma elipse:

$$C_i = \pi \cdot [(L_1+L_2)/4]^2$$

Em que:

C_i = área de copa, em m²;

L1 = largura transversal da copa, em m;

L2 = largura longitudinal da copa, em m.

A fim de tentar resumir a resposta de crescimento das plantas às diferentes doses de biossólido e a adubação com superfosfato simples foi realizado cálculo do crescimento relativo médio de cada tratamento, em relação à testemunha absoluta. Também foi verificado o crescimento relativo geral, o qual engloba as três espécies analisadas. Nessa análise foi atribuído o mesmo peso para todas as variáveis de crescimento.

Além disso, aos 12 meses de idade do povoamento também foram escolhidas as quatro plantas mais próxima da média de altura das espécies paineira e saboneteira, dos tratamentos testemunha, fertilização química e adubação com 3,0 L'cova⁻¹ de biossólido, para a análise da dinâmica dos nutrientes no perfil do solo. A escolha dessas duas espécies foi com o objetivo de abranger a espécie com a melhor (paineira) e pior (saboneteira) resposta a aplicação dos tratamentos de adubação de plantio.

Esta análise consistiu na coleta de amostras de solo em diferentes camadas de profundidade (0-25, 25-50, 50-75 e 75-100 cm), na região de até 10 cm da base do caule das plantas, com o auxílio da sonda graduada de coleta de solo. As amostras do solo das diferentes camadas foram submetidas à análise química no Laboratório de Análise Química de Solo, Tecido Vegetal e Fertilizante da Universidade Federal de Viçosa para a obtenção da concentração dos nutrientes. Estes dados, juntamente com os dados de crescimento, foram submetidos à análise de variância, e constatando diferenças significativas, ao teste de Tukey (P ≥ 0,95).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4. 1. Crescimento ao longo do tempo

Independente da espécie observa-se que as plantas adubadas com o biofóssido apresentaram maior tendência no aumento do crescimento do que as plantas que não receberam esse tipo de fertilização (Figura 1). Este resultado ocorreu, provavelmente, pelo biofóssido conter considerável percentual de matéria orgânica e por ser um composto que apresenta grande quantidade (Tabela 2) e diversidade de nutrientes (GUEDES et al., 2006; BERTON; NOGUEIRA, 2010; SHEER et al., 2012b; ABREU, 2014). Na aplicação do biofóssido ao solo, ocorrerá a elevação nos teores dos nutrientes, e por consequência, o aumento na disponibilidade para os vegetais, influenciando diretamente na velocidade de crescimento dos mesmos.

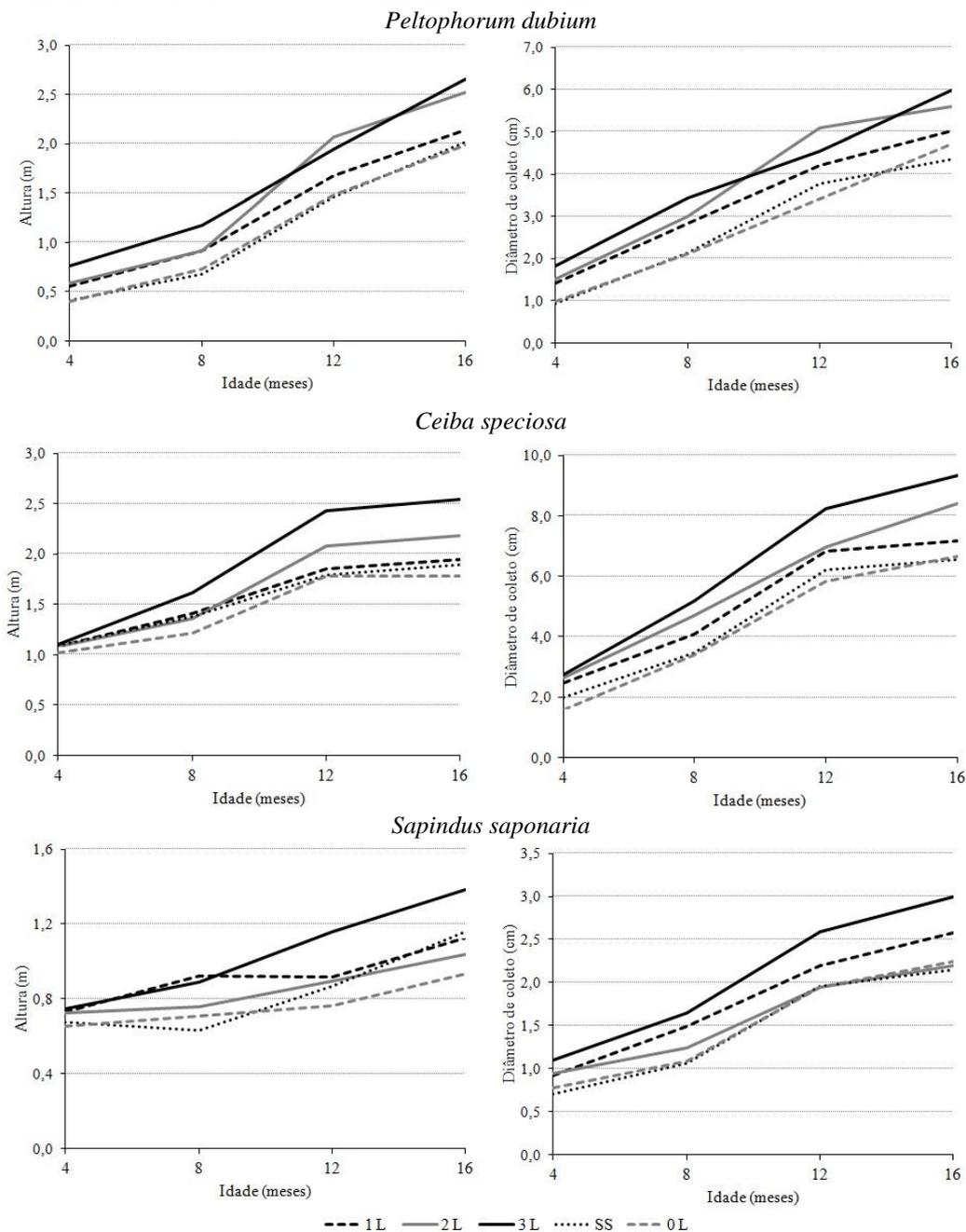


Figura 1: Crescimento de três espécies florestais da Mata Atlântica com diferentes doses de biofóssido e adubação química, como fertilização de plantio.

A pequena resposta das plantas adubadas com superfosfato simples (Figura 1) possivelmente ocorreu devido à limitação ocasionada por outros nutrientes (principalmente nitrogênio e potássio) que não sejam fósforo, cálcio e magnésio, elementos que estão presentes neste adubo (CAMPOS et al., 2013). Este resultado que não era esperado, pois, Lani et al (1995) menciona que a aplicação de P_2O_5 (com teor de 18% no superfosfato simples) estimula o crescimento radicular, influenciando diretamente no crescimento das plantas.

Conforme aumentou a dose de biossólido, houve tendência de maior crescimento das plantas, exceto para a *Sapindus saponaria* (Figura 1). A maior velocidade no crescimento das plantas é de grande importância em ações de reflorestamento, uma vez que as mesmas ficarão menos susceptíveis a competição pelas plantas daninhas, reduzindo a quantidade de intervenções e, por consequência, os custos da restauração florestal (FERREIRA et al., 2010; NASCIMENTO et al., 2012).

Bezerra et al. (2006), em estudo sobre a revegetação de uma área degradada, observaram que o crescimento de determinadas espécies estavam diretamente associadas a dosagem de biossólido aplicado, indicando que este representa uma alternativa viável para a recuperação de áreas e destinação final do resíduo. Porém, deve-se levar em consideração a quantidade de biossólido aplicada, visto que este poderá provocar a eutrofização do solo e, pelos processos de lixiviação, potencial contaminação dos cursos hídricos (BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE et al., 2010).

Peltophorum dubium e *Ceiba speciosa* são espécies classificadas como pioneira na sucessão ecológica (KAGEYAMA; GANDARA, 2000; CARVALHO, 2004), possuindo rápido crescimento e grandes demandas de nutrientes na fase inicial de crescimento (REZENDE et al., 1999; RODRIGUES et al., 2009). Assim, com o aumento das doses do biossólido, por consequência, aumentou a disponibilidade de nutrientes no solo, acelerando o crescimento. Trazzi et al. (2012) também encontraram a tendência no aumento do crescimento de mudas de *Murraya paniculata*, aos 150 dias de idade, à medida que se aumentava a proporção de lodo de esgoto, corroborando com os resultados do presente estudo.

A resposta menos expressiva da *Sapindus saponaria* acontece por esta espécie apresentar ciclo de crescimento lento, sendo classificada como secundária inicial (CARVALHO, 2004), necessitando de maior espaço de tempo para apresentar as diferenças entre as diferentes doses. Nas espécies secundárias tardias e clímax, a aplicação de fontes com alta solubilidade não é viável, pois o crescimento lento do sistema radicular não é capaz de absorver grandes quantidades de nutrientes, ficando estes mais sujeitos aos processos de lixiviação, aumentando os custos com a adubação do povoamento pelo maior número de vezes de aplicação (KAGEYAMA; GANDARA, 2000; ZONTA et al., 2006; QUINTANA et al., 2009). Arthur et al. (2007), em estudo com *Calophyllum brasiliensis*, mencionam que nas espécies de crescimento lento, a influência do nível de fertilidade do solo é pequena, sendo um indicativo de maior adaptação a solos pouco férteis, ou de rígido ajuste da taxa de crescimento às condições de baixa disponibilidade de nutrientes, o que restringe sua resposta à melhoria nos níveis de fertilidade do solo.

4.2. Crescimento aos 12 meses

Na avaliação realizada aos 12 meses de idade após a aplicação dos tratamentos e do plantio, constatou-se pela análise de variância ($P \geq 0,95$) que houve diferenças

significativas para altura, diâmetro de coleto e área de copa em função da dose de biofóssido para as três espécies, exceto área de copa da *Sapindus saponaria*. No entanto, não foi possível ajustar equações de regressões de forma confiável (baixos valores de R^2 e, na maioria das equações, a não significância dos coeficientes) devido à dispersão relativamente alta dos dados, provavelmente originário da diversidade genética das sementes usadas para a produção das mudas. Assim, sugere-se, em trabalhos futuros, aumentar o número de repetições e melhorar o controle local.

De modo geral, o tratamento com 3,0 L/planta⁻¹ de biofóssido apresentou maior tendência de crescimento, e as plantas da testemunha ficaram com crescimento inferior às plantas dos outros tratamentos empregados (Tabela 3). Conforme discutido anteriormente, na adição do biofóssido adiciona-se nutrientes e matéria orgânica no solo, o que favorece o crescimento dos vegetais (GUEDES et al., 2006; SILVA et al., 2008a; BERTON; NOGUEIRA, 2010; ABREU, 2014), enquanto que as plantas da testemunha ficam sujeitas apenas a fertilidade natural do solo.

Tabela 3: Valores médios e desvio padrão (entre parênteses) de três espécies florestais nativas aos 12 meses após o plantio, submetidas a doses biofóssido como adubação de plantio e sem fertilização

| Espécie | Tratamento | Altura (m) | DNS ¹ (cm) | Área de copa (m ²) |
|---------------------------|----------------------------|------------|-----------------------|--------------------------------|
| <i>Peltophorum dubium</i> | 3,0 L/planta ⁻¹ | 1,9 (0,42) | 4,5 (1,1) | 2,3 (1,14) |
| | 2,0 L/planta ⁻¹ | 2,1 (0,32) | 5,1 (0,5) | 1,2 (0,64) |
| | 1,0 L/planta ⁻¹ | 1,7 (0,46) | 4,2 (0,8) | 1,0 (0,49) |
| | Testemunha | 1,5 (0,37) | 3,4 (0,7) | 1,0 (0,53) |
| <i>Ceiba speciosa</i> | 3,0 L/planta ⁻¹ | 2,4 (0,52) | 8,2 (2,0) | 3,9 (2,66) |
| | 2,0 L/planta ⁻¹ | 2,1 (0,47) | 7,0 (2,0) | 2,0 (1,37) |
| | 1,0 L/planta ⁻¹ | 1,9 (0,27) | 6,8 (1,6) | 2,1 (1,80) |
| | Testemunha | 1,8 (0,33) | 5,8 (1,5) | 1,0 (0,84) |
| <i>Sapindus saponaria</i> | 3,0 L/planta ⁻¹ | 1,2 (0,24) | 2,6 (0,7) | 0,2 (0,10) |
| | 2,0 L/planta ⁻¹ | 0,9 (0,20) | 1,9 (0,3) | 0,1 (0,03) |
| | 1,0 L/planta ⁻¹ | 0,9 (0,14) | 2,2 (0,5) | 0,1 (0,05) |
| | Testemunha | 0,8 (0,16) | 1,9 (0,6) | 0,1 (0,07) |

¹Diâmetro ao nível do solo.

A pouca diferença entre os valores do crescimento das plantas dos tratamentos com 1,0 e 2,0 litros de biofóssido pode ter sido ocasionada pelo sítio onde foi instalado o experimento, visto que este, com base em dados de Gonçalves (1995) para espécies nativas e para eucalipto, apresenta relativamente boa qualidade química (Tabela 1), onde as menores doses de biofóssido não proporcionaram maiores diferenças. Resultado similar foi encontrado por Maas (2010), estudando diferentes proporções de biofóssido na formação de mudas de *Enterolobium contortisiliquun*, em que não encontraram diferenças significativas nos valores de crescimento entre os tratamentos com as proporções intermediárias do composto orgânico.

Observa-se que, no aspecto geral, a dosagem de 3,0 L/planta⁻¹ obteve o aumento de 96% em relação às plantas da testemunha (Figura 2). O melhor crescimento das plantas, quando aplicado maior dose de biofóssido, provavelmente ocorreu pelo aumento na quantidade de nutrientes e melhoria nos aspectos físicos do solo (GUEDES et al., 2006; BERTON; NOGUEIRA, 2010; SHEER et al., 2012b; ABREU, 2014), pois

a arquitetura das raízes das plantas é afetada pelo substrato onde estas estão inseridas, tendo influência direta nos vegetais (GOULARTH, 2011), e, de modo geral, maiores quantidades de matéria orgânica, favorecem o crescimento do sistema radicular.

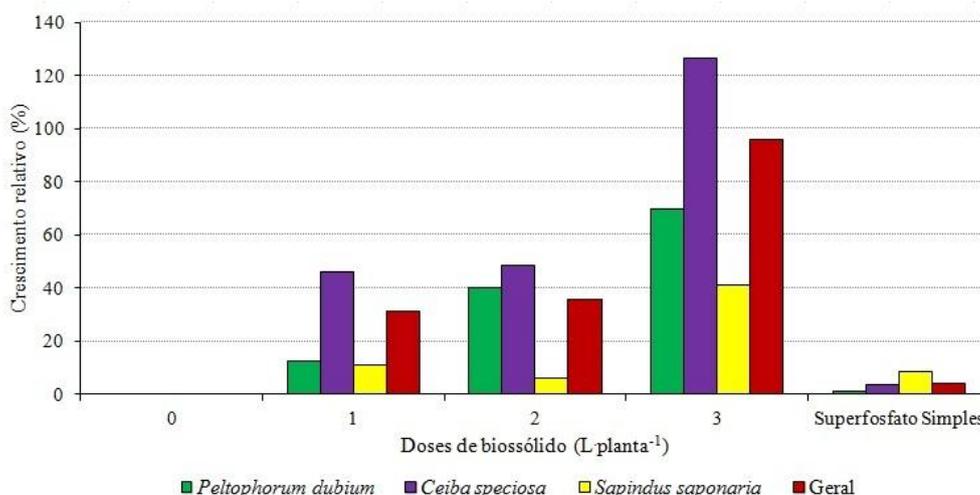


Figura 2: Crescimento relativo de três espécies florestais nativas da Mata Atlântica em decorrência da fertilização de plantio com diferentes doses de biossólido e adubação química.

A espécie *Ceiba speciosa* foi a que apresentou melhores resultados com o aumento da dose de biossólido, em que nas menores doses (1,0 e 2,0 L.planta⁻¹) o crescimento relativo chegou ao aumento médio de 47 % em relação à testemunha. Com a dose de 3,0 L.planta⁻¹ proporcionou incremento de 126 %, equivalendo a 2,67 vezes o apresentado pela menor dose.

Assim como a *Ceiba speciosa*, as plantas de *Peltophorum dubium* também apresentaram maior crescimento na dose mais elevada de biossólido, correspondendo a ganho de 69 % em comparação com a testemunha. A espécie *Sapindus saponaria* foi a que demonstrou menor resposta à aplicação de biossólido, obtendo ganho de apenas 41% na maior dose em relação às plantas não adubadas.

Ganhos com a utilização do biossólido foram encontrados por Rocha et al. (2004), em estudo com *Eucalyptus grandis*, onde a dosagem de 12 Mg.gha⁻¹ foi equivalente a adubação mineral. Scheer et al. (2010), estudando *Parapiptadenia rigida*, também observou que, apesar da espécie responder bem adubação mineral, com o biossólido obteve maiores incrementos no crescimento, além dos nutrientes contidos no composto ser suficientes para a formação de plantas saudias. Gonçalves et al. (2000) obtiveram o aumento de 37% na produtividade de *Eucalyptus grandis* quando se aplicou 10 Mg.gha⁻¹ de biossólido em relação a adubação química, aos 22 meses de idade do povoamento. Do mesmo modo, Caldeira Junior et al. (2009), em estudo com *Astronium fraxinifolium*, verificaram aumento na disponibilidade de nutrientes e no crescimento das plantas quando aplicou biossólido, argumentando que este resíduo funciona como uma alternativa para a recuperação de áreas degradadas. No entanto, Faria (2007) em estudo com *Eucalyptus grandis* fertilizados com o biossólido aos 99 meses de idade, apenas verificou aumentos significativos na produtividade quando houve a adição de fertilizantes minerais a base de fósforo e potássio no biossólido.

Nas condições do local e idade de avaliação, quanto mais se aumentou a dose de biossólido maior foram as respostas das plantas (Figura 2), porém, o estudo da dinâmica

dos nutrientes no solo se faz necessário quando se utiliza este tipo de fertilização, para que na aplicação de doses elevadas não aumente os riscos de contaminação ambiental sem obter ganhos satisfatórios no povoamento florestal (BETTIOL; CAMARGO, 2006; COSCIONE et al., 2010).

Na análise entre a maior dose de biossólido, fertilização química e testemunha, observa-se que, independente da espécie, as plantas fertilizadas com o composto orgânico apresentaram crescimento significativamente superior em todas as variáveis avaliadas (Tabela 4). A obtenção destes resultados foi possível visto que, além de teoricamente haver adição de nutrientes quando se aplica o biossólido, os altos teores de matéria orgânica presente atuam como condicionador de solo, tendo influência direta nos resultados apresentados pelas plantas, pois melhora a qualidade química (ARAÚJO et al., 2005; CALDEIRA JUNIOR et al., 2009; BARONY, 2011). Além disso, melhora os atributos físicos, agindo na estrutura e estado de agregação das partículas, diminuindo a densidade e aumentando a aeração e retenção de umidade no solo (NOBREGA et al., 2007), o que beneficia o crescimento das plantas, corroborando com os resultados encontrados.

Tabela 4: Crescimento de três espécies florestais nativas aos 12 meses após o plantio, submetidas à adubação de plantio com biossólido, superfosfato simples e sem adubação

| Espécie | Tratamento | Altura (m) | DNS ¹ (cm) | Área de copa (m ²) |
|---------------------------|---------------------------|------------|-----------------------|--------------------------------|
| <i>Peltophorum dubium</i> | 3,0 Lplanta ⁻¹ | 1,94 a | 4,54 a | 2,31 a |
| | 210 gplanta ⁻¹ | 1,46 b | 3,78 b | 0,82 b |
| | Testemunha | 1,48 b | 3,42 b | 0,94 b |
| <i>Ceiba speciosa</i> | 3,0 Lplanta ⁻¹ | 2,43 a | 8,23 a | 3,88 a |
| | 210 gplanta ⁻¹ | 1,79 b | 6,20 b | 0,99 b |
| | Testemunha | 1,78 b | 5,84 b | 0,97 b |
| <i>Sapindus saponaria</i> | 3,0 Lplanta ⁻¹ | 1,16 a | 2,59 a | 0,18 a |
| | 210 gplanta ⁻¹ | 0,87 b | 1,95 b | 0,11 b |
| | Testemunha | 0,76 b | 1,94 b | 0,13 b |

Médias da mesma espécie seguidas pela mesma letra na coluna não diferem estatisticamente ao teste de Tukey (P < 0,05). ¹Diâmetro ao nível do solo.

Os resultados encontrados também pode ter sido influenciados por algumas espécies florestais possuem como fonte de nutrientes a matéria orgânica, com maior eficiência na utilização dos elementos quando suprido pelos processos de ciclagem de nutrientes do solo (PAIVA et al., 2009). Dessa forma, o biossólido seria um ótimo fertilizante para as espécies estudadas por ser constituído em grande parte por matéria orgânica, em que a disponibilização dos nutrientes ocorrerá de forma gradual, suprimindo as demandas por um maior período (BETTIOL; CAMARGO, 2006; NASCIMENTO et al., 2013; CALDEIRA et al.; 2012a).

A ausência de diferenças significativas entre a testemunha absoluta e a fertilização com o SS pode ter ocorrido por esta fonte de fósforo possuir grande solubilidade (CAMPOS, et al. 2013), sendo adsorvido pelas partículas do solo (NOVAIS et al. 2007), mesmo considerando que o solo é relativamente pobre em P disponível (Tabela 1).

4.3. Concentração de nutrientes em diferentes camadas do solo

Devido a dependência da concentração de N, P, K, Ni, Cd e Pb entre as camadas de solo não foi realizada análise de variância destes fatores. Assim, foi isolada cada camada e realizou-se análise de variância envolvendo espécie e a concentração dos nutrientes e dos metais pesados.

Constatou-se, para todas as quatro camadas, não haver diferenças significativas na concentração de nutrientes e de metais pesados entre as espécies. Diferenças significativas foram encontradas para alguns elementos em algumas camadas, conforme dados médios apresentados (Tabelas 5 e 6). Este resultado pode ser explicado pelo solo também ser um concorrente na fixação dos elementos adicionados com a adubação orgânica, tendo alta capacidade de adsorção e imobilização, o que não foi possível detectar as diferenças entre as espécies pelos tipos de análises químicas realizadas nas amostras de solo do presente estudo. Além disso, Maio et al. (2011) mencionam que, apesar do lodo de esgoto ser rico em matéria orgânica e exercer influência em vários atributos do solo, o teor de nutrientes somente ficará evidente quando existir várias aplicações sucessivas ao longo do tempo, o que não ocorreu neste estudo.

Apesar da adubação com o biossólido ($3,0 \text{ Lcova}^{-1}$) acrescentar quantidades expressivas de nitrogênio (Tabela 2), após seis meses do plantio, os teores deste nutriente não apresentaram diferenças significativas entre o solo das camadas, quando comparado à testemunha absoluta e a adubação com o SS (Tabela 5).

A ocorrência desse resultado pode ser explicada pelo maior crescimento das plantas que receberam o biossólido, principalmente quando se leva em consideração os valores de área de copa (Tabela 3). O nitrogênio é o elemento que mais limita o crescimento dos vegetais, sendo integrante de estruturas foliares, possuindo influência direta na área de copa das plantas. Assim, quando se aplicou o biossólido, o crescimento dos vegetais foi maior, como consequência ocorreu maior absorção do nitrogênio do solo, o que provavelmente ocasionou valores estatisticamente iguais nos teores deste elemento no solo nos diferentes tratamentos.

Macedo et al. (2012) explicam que a causa da variação nos teores de nitrogênio no solo pode ter influência de diversos fatores, com destaque para a capacidade de absorção da cultura, velocidade de mineralização do nitrogênio, tipo de solo e quantidade e velocidade de infiltração de água no solo, onde que, mesmo na aplicação de diferentes quantidades deste elemento, os teores acumulados poderão ser iguais.

A falta de diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 5) também pode ter sido ocasionada pela percolação do N para camadas mais profundas do solo, ficando abaixo da profundidade máxima avaliada, pois, no processo de aplicação dos tratamentos, os fertilizantes foram homogenizados ao solo, o que provavelmente aumentou a taxa de mineralização do N-orgânico presente no biossólido, permitindo que o excesso nitrogênio não absorvido pela planta ficasse passível de lixiviação. No entanto, o N em excesso da aplicação do biossólido geralmente é imobilizado ou incorporado a fração residual, ficando em formas mais resistentes à biodegradação (VELASCO-MOLINA et al., 2006). Isto, aliado a falta de chuva nessa época sugere que o resultado foi provocado pela absorção pelas plantas e não pelos processos erosivos, como discutidos anteriormente.

Resultados similares a este foram encontrados por Velasco-Molina et al. (2006) em estudo com *Eucalyptus grandis*, aos 55 meses de idade do povoamento, onde as aplicações do biossólido, mesmo na maior dosagem ($40,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), não diferiram da adubação mineral e do controle em até a profundidade de 60 cm do solo.

Macedo et al. (2012) também não encontraram diferenças entre a adubação química e a aplicação de biossólido em um Latossolo Vermelho eutrófico, ainda argumentando que quanto maior a dose utilizada menor foi a proporção de nitrogênio em profundidade.

Reyes et al. (1996), na aplicação durante quatro anos, encontraram que o tratamento misto (biossólido complementado com fertilização química) obteve melhores resultados que a adubação mineral, em que esta proporcionou elevadas concentrações de nitrato em todo perfil do solo, devido a notável mobilidade e alta solubilidade, onde os compostos nitrogenados da adubação química, que ao não ser aproveitados totalmente, foram lixiviados e arrastados as maiores profundidades, até se incorporar as águas subterrâneas. Todavia, Aita et al. (2006) verificaram que na aplicação de $80,0 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de fertilizante orgânico houve evidências de lixiviação para camadas do solo mais profundas que 60 cm, principalmente sobre a vegetação espontânea.

Ainda cabe na avaliação do N levar em consideração o tipo de análise química realizado no solo, em que algumas análises não possuem a capacidade de identificar todo o nitrogênio presente, o que também pode ter ocorrido neste experimento, subestimando os valores encontrados.

Observa-se que na camada de 0,0-25 cm de profundidade os tratamentos com a aplicação do biossólido e do fertilizante químico não apresentaram diferenças significativas, sendo os teores de P somente maiores que no solo da testemunha (Tabela 5). Já na camada de 25-50 cm, no solo onde se realizou a aplicação do superfosfato simples o teor de P foi significativamente maior que nos demais tratamentos, e abaixo dessa profundidade não foram encontradas diferenças. O fósforo é um elemento de baixa mobilidade no solo (NOVAIS et al., 2007), sendo sua aplicação realizada na cova com o objetivo de reduzir a área de contato solo-fertilizante e, conseqüentemente, a adsorção do P pelo solo, aumentando a disponibilidade do nutriente para planta (GONÇALVES et al., 1985; BARROS et al., 1990). Dessa forma, na aplicação dos fertilizantes no momento do plantio, o fósforo presente nos mesmos ficou acumulado nas proximidades da cova, o que aumentou os teores nas camadas mais superficiais.

O decréscimo no teor de fósforo em função da profundidade do solo também foi encontrado por Schlindwein e Anghinoni (2000) estudando diferentes solos do estado do Rio Grande do Sul submetidos a longos períodos de adubação. Do mesmo modo, Tokura et al. (2002) em trabalho com diferentes solos com plantio direto, encontraram tendência de redução da quantidade de P em relação a profundidade e o tempo, mas que, em uma mesma classe de solo, a participação das formas de P não-lábeis em relação ao P-total tendeu a diminuir, sendo acompanhada por um aumento relativo das formas lábeis, ficando mais disponíveis para as plantas. No entanto, Silva et al. (2014) avaliando a incorporação de diferentes adubos orgânicos em um Argissolo Vermelho-Amarelo mostraram que a profundidade acelera a mineralização do fósforo, em razão do aumento da superfície de ataque microbiano, da proliferação e da atividade decompositora promovida pelas melhorias das condições de temperatura e umidade e pela diminuição dos ciclos de umedecimento e secagem, o que aumentou os teores em razão da profundidade do solo.

Apesar da adubação com $3,0 \text{ L cova}^{-1}$ do biossólido corresponder 1,59 vezes a quantidade de fósforo presente na aplicação de 210 g de SS, nas camadas superficiais a adubação química foi equivalente ou proporcionou maior teor de P no solo aos 12 meses do plantio (Tabela 5). O superfosfato simples é um adubo mineral com 21% de P_2O_5 , sendo 16% destes solúveis em água. Na sua aplicação ao solo ocorre rápida

liberação (CAMPOS, et al., 2013), enquanto que o bio sólido possui $87 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ de fósforo (Tabela 2), com grande parte complexada, em que a disponibilização depende dos processos de mineralização da matéria orgânica (ABREU, 2014). Assim, a maior quantidade de P no tratamento com a adubação mineral deve-se possivelmente ao predomínio de fosfatos solúveis e fracamente ligados a matriz sólida (SILVA et al., 2014). Estes resultados diferem do encontrado por Corrêa et al. (2000), onde disposição de esgoto em Latossolo Vermelho Escuro aumentou a concentração de fósforo em 84 vezes no solo da camada de 5-10 cm de profundidade.

Outro aspecto importante é fato da maior quantidade de raízes com pelos absorventes, nas espécies arbóreas, se encontrarem até 50 cm de profundidade (GONÇALVES et al., 2000; BEHLING et al., 2014), e as plantas que receberam a adubação orgânica apresentaram maior crescimento (Tabela 3), absorvendo maiores quantidades de nutrientes do solo, o que promove a redução dos teores de fósforo na camada de 25-50 cm, do mesmo modo que ocorreu com o nitrogênio. Além disso, segundo Silva et al. (2014), quando se adiciona um fertilizante orgânico no solo ocorre o aumento expressivo no número de microrganismos totais na mistura do solo, provocando a imobilização do P na biomassa microbiana, não sendo possível identificá-lo apenas com análises químicas de rotina, como as que foram realizadas neste experimento.

A adição dos fertilizantes não provocou diferenças significativas nos teores de potássio nas camadas do solo, entretanto, é observada a tendência de maior acúmulo na camada de 0-25 cm nos tratamentos com a adubação química e a testemunha absoluta (Tabela 5).

A tendência de menor quantidade de potássio no solo adubado com o bio sólido era esperada, pois, apesar desse tratamento ter adicionado K (Tabela 2), as plantas obtiveram maior crescimento (Tabela 3), o que provavelmente ocasionou maior absorção do elemento pelos vegetais e reduções nos teores do solo. O potássio é um dos nutrientes absorvido em maior quantidade e velocidade pelas plantas, superando o fósforo e equiparando-se ao nitrogênio (MALAVOLTA, 1980), assim, possivelmente, com o maior crescimento das plantas com composto orgânico, grande quantidade de K foi absorvida, o que proporcionou o resultado encontrado. Ao mesmo tempo, Almeida (2009) afirma que os teores de potássio no solo possuem estreita relação com o material de origem e o grau de intemperismo; portanto, solos pobres em minerais potássicos ou muito intemperizados, como o Latossolo deste estudo, normalmente são aqueles em que as plantas mais respondem ao fornecimento de K, devido a maior absorção. Silva et al. (2014), em estudo com a liberação e decomposição de fertilizantes orgânicos em diferentes camadas de um Argissolo Vermelho Amarelo, também não encontraram diferenças quanto a quantidade de K em relação a profundidade quando ocorreu a incorporação no solo.

Os resultados apresentados na Tabela 5 também podem ter sido ocasionados pela lixiviação do potássio, sendo este percolado para camadas mais profundas do que as avaliadas ou para o lençol freático. O potássio é um elemento solúvel, que possui alta mobilidade no solo (ERNANI et al., 2007a), sendo os movimentos de difusão provocados pelas raízes das plantas o mais representativo (FERNANDES, 2006). A lixiviação do K depende do teor do nutriente na solução, da quantidade de água percolada através do perfil do solo e da cultura vegetal implantada. Dentre os fatores que interferem na concentração do potássio, destacam-se a CTC e a força de adsorção desse nutriente pelo solo (ROSOLEM et al., 2006). Porém, as atrações sucessivas a que o nutriente é submetido durante o processo de descida no perfil do solo, sejam pelas

cargas negativas e, ou, pelos grupos funcionais nos compostos sólidos, tendem a dificultar a mobilidade (ERNANI et al., 2007b), elevando a disponibilidade do nutriente para as plantas.

Rosolem et al. (2006), em estudo com a aplicação de diferentes doses de potássio em colunas de lixiviação preenchidas com Latossolo Vermelho distroférico, não identificaram a lixiviação deste elemento, sendo os teores de K encontrado até a profundidade de 8,0 cm, mesmo quando as doses de adubo em cobertura foram elevadas. Estes autores mencionam que a lixiviação é preferencial de cátions bivalentes e que os ligantes orgânicos presentes no solo tem ligação mais estável quanto maior a valência do íon. Portanto, na adição do biossólido, a matéria orgânica presente pode ter funcionado como ligante, proporcionando maior retenção do K e sendo este absorvido pelos vegetais por apresentarem maior crescimento, diminuindo os teores até igualar aos outros tratamentos e minimizando sua lixiviação.

Donagema et al. (2008), em estudo sobre a percolação de nutrientes em colunas de Latossolo Vermelho-Amarelo, mesma classe de solo da área experimental, identificaram que o ponto de maior teor de K^+ localizou-se no anel superficial em todos os tratamentos que receberam adubação, indicando menor mobilidade, e sendo esta relacionada ao raio iônico e maior atração do K^+ pelo complexo de troca catiônica do solo. Os mesmos autores ainda argumentam que na adubação com o potássio exige cuidadosa dosagem na solução em razão da mobilidade diferencial desses nutrientes no sentido de prevenir a salinização do solo.

Ernani et al. (2007b), na aplicação de 0,0; 150 e 300 $mg \cdot kg^{-1}$ de potássio na superfície de colunas de lixiviação preenchidas com Cambissolo e Nitossolo, identificaram que ocorreu descida de K para profundidades superiores a 10 cm, mas que a lixiviação foi pequena, onde o aumento dos teores de K trocável em profundidade varia com o fluxo de água e com a densidade do solo, sendo a mobilidade do elemento dependente de boa precipitação pluvial do período.

Do mesmo modo, Souza et al. (2012) mostraram que nos meses com maior precipitação pluvial, há potencial perdas de nutrientes por lixiviação, principalmente de nitratos, potássio e boro. Schlidwein e Anghinini (2000) identificaram que os Argissolos apresentam maior possibilidade de lixiviação de K para as camadas mais profundas em relação aos Latossolos e que a exportação desse nutriente é maior nos produtos vegetais gerados em relação à adição pelos fertilizantes.

A partir destes estudos (SCHLIDWEIN; ANGHININI, 2000; FERNANDES, 2006; ROSOLEM et al., 2006; ERNANI et al., 2007b; DONAGEMA et al., 2008) é possível inferir que a ausência de diferenças entre os tratamentos foi provocada pela absorção de potássio pelas plantas, reduzindo os teores de K no solo. No entanto, vale ressaltar que no presente trabalho os valores de potássio encontrado podem ter sido subestimados devido ao tipo de análises químicas (Mehlich -1) realizadas no solo, pois estas identificam apenas a quantidade de nutrientes que está prontamente disponível para as plantas.

Tabela 5: Teor de nutrientes no solo, após 12 meses da aplicação de diferentes adubos de plantio e tratamento não fertilizado

| Camada do solo (m) | N (g·kg ⁻¹) | | | P (mg·dm ⁻³) | | | K (mg·dm ⁻³) | | |
|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|-------------------------|
| | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² |
| 0,00 - 0,25 | 1,7 a | 1,9 a | 1,8 a | 2,8 c | 17,3 b | 29,8 a | 91,5 a | 96,8 a | 64,0 a |
| 0,25 - 0,50 | 1,7 a | 1,8 a | 1,8 a | 2,1 b | 43,3 a | 7,3 b | 78,0 a | 69,4 a | 54,1 a |
| 0,50 - 0,75 | 1,6 a | 2,0 a | 1,6 a | 2,1 b | 14,4 a | 4,2 b | 63,5 a | 53,1 a | 58,5 a |
| 0,75 - 1,00 | 2,1 a | 1,6 a | 1,5 a | 4,4 b | 9,5 a | 3,4 b | 54,9 a | 49,8 a | 57,6 a |

Médias seguidas pela letra na linha mesma, dentro de cada nutriente, não diferem estatisticamente ao teste de Tukey (P < 0,05). ¹210 g·planta⁻¹ superfosfato simples; ²3,0 L·planta⁻¹. N = N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P, K, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1.

Tabela 6: Teor de metais pesados no solo, após 12 meses da aplicação de diferentes adubos de plantio e tratamento não fertilizado

| Camada do solo (m) | Ni (mg·dm ⁻³) | | | Cd (mg·dm ⁻³) | | | Pb (mg·dm ⁻³) | | |
|--------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------------|
| | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² | Testemunha | SS ¹ | Biossólido ² |
| 0,00 - 0,25 | 0,09 c | 0,18 b | 0,30 a | 0,05 c | 0,11 b | 0,15 a | 0,04 b | 0,03 b | 0,27 a |
| 0,25 - 0,50 | 0,09 b | 0,14 b | 0,26 a | 0,08 b | 0,13 a | 0,14 a | 0,02 a | 0,03 a | 0,10 a |
| 0,50 - 0,75 | 0,10 b | 0,12 b | 0,21 a | 0,07 b | 0,12 a | 0,14 a | 0,01 a | 0,03 a | 0,06 a |
| 0,75 - 1,00 | 0,08 a | 0,12 a | 0,13 a | 0,08 a | 0,12 a | 0,10 a | 0,01 a | 0,05 a | 0,01 a |

Médias seguidas pela letra na linha mesma, dentro de cada nutriente, não diferem estatisticamente ao teste de Tukey (P < 0,05). ¹210 g·planta⁻¹ superfosfato simples; ²3,0 L·planta⁻¹. N = N total: digestão sulfúrica-destilação Kjeldhal; P, K, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1.

4.4. Concentração de metais pesados em diferentes camadas do solo

Em nenhum dos tratamentos foi identificado cromo ou os teores do elemento no solo ficaram abaixo do limite de determinação do método analítico utilizado (Mehlich - 1), indicando que, se presente, o metal se encontra em concentrações inferiores a de $0,6 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, conforme o limite do método mencionado por Velasco-Molina et al. (2006). Do mesmo modo, Oliveira e Mattiazzo (2001), na aplicação de $110 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido não encontraram teores de Cr até 90,0 cm de profundidade em um Latossolo Amarelo distrófico. Andrade e Mattiazzo (2000) aplicando até $40,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido nas entre linhas de um povoamento de *Eucalyptus grandis* implantado em Latossolo Vermelho Amarelo de textura argilosa, indicaram que os teores de cromo foram abaixo de $1,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ até profundidade de 90,0 cm, ficando abaixo do limite do extrator utilizado (Mehlich 3). Nogueira et al. (2008) também não encontraram efeitos do biossólido na concentração de cromo em aplicação de até $127,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em um Latossolo Vermelho eutrófico.

Ferreira et al. (2003), em um Argissolo Vermelho distrófico, verificaram aumentos expressivos no teor de Cr total no solo quando se aplicou $42,5 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de lodo de curtume. Merlini et al. (2010) mencionam que, em um Latossolo Vermelho distrófico, os teores de cromo foram alterados na camada 0-10 cm de profundidade na adição de $10,0$ a $20,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido. Estes autores mencionam que o comportamento do cromo no perfil do solo tem mostrado diversos resultados quanto à adição do metal, sendo encontrado com a distribuição uniforme no perfil, acumulado na superfície ou não identificado, como no presente trabalho.

As concentrações de níquel nos diferentes tratamentos não apresentaram diferenças significativas nas camadas do solo avaliadas (Tabela 7). O níquel, assim como outros metais pesados, formam complexos com vários constituintes orgânicos do solo, formando combinações insolúveis como com o ácido húmico, além de apresentar grandes influências de retenção aos óxidos presentes no solo (ALVES, 2014). Os Latossolos possuem elevadas quantidades de minerais óxidos no solo, principalmente os de textura argilosa, como os solos do experimento, isto, juntamente com a matéria orgânica adicionada através do biossólido, provavelmente complexou o níquel, resultando na ausência de diferenças nos diferentes tratamentos. Reis (2002) menciona que com o tempo, os metais ligados às formas ácidas tornem-se cada vez menos disponíveis e que os solos ricos nesses minerais são bons adsorventes de metal. No entanto, devem-se considerar as insuficiências dos extratores utilizados no estudo, os quais não têm a capacidade da contabilização do Ni total presente tanto na fração orgânica e como nos óxidos.

A disponibilidade de Ni para às plantas é regulada, em grande parte, pelas reações de adsorção que ocorrem entre o elemento e as superfícies sólidas do solo (IGLESIAS et al., 2007). O níquel, na sua forma solúvel, também é prontamente absorvido pelas raízes das plantas, o qual possui relação direta com os diversos componentes do solo. O tipo de ligação do níquel com estes componentes poderá contribuir para a disponibilidade à planta ou liberação deste elemento na solução do solo (ALVES, 2014). Este fenômeno também pode ter causado a falta de diferença, em que as plantas do povoamento absorveram o níquel ao ponto de igualarem estatisticamente os valores da concentração nos tratamentos.

Oliveira e Mattiazzo (2001), em um Latossolo Amarelo distrófico, não encontraram teores de Ni até a profundidade de 90,0 cm quando aplicou $110,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$

de biossólido, mencionando que o método analítico utilizado (Mehlich -1) não foi eficiente para a avaliação dos teores deste elemento, mas ficando abaixo de $10,0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Da mesma forma, Andrade e Matiazzo (2000), a $90,0 \text{ cm}$ de profundidade do solo, não identificaram teores de níquel em povoamento de *Eucalyptus grandis* quando se aplicou o biossólido entre linhas. Alves (2014) em um Latossolo Vermelho eutrófico, aplicando $5,0$; $10,0$ e $20,0 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido identificou que as maiores concentrações de níquel foram encontradas nas amostras que não receberam o adubo orgânico em profundidade. Oliveira et al. (2005), com aplicações sucessivas de biossólido durante cinco anos em dois tipos de Latossolos, verificaram aumento nos teores de Ni conforme foi aumentada a dose do composto.

Trabalhos com resultados diferentes ao do presente estudo também foram dos encontrados por Velasco-Molina et al. (2006), em que não constataram diferenças em relação a aplicação de doses crescentes de biossólido, mas nas camadas superiores os teores de Ni foram influenciados pelos tratamentos, sendo de 6 a 23 vezes maiores no solo que recebeu a fertilização orgânica em comparação ao controle e a adubação mineral. Nas camadas abaixo de 10 cm estes autores identificaram tendência de acúmulo, explicando que houve mineralização das formas orgânicas as quais o níquel estava associado ou a solubilização dos carbonatos de forma a permitir a passagem do metal para o solo e posterior lixiviação. Ashworth e Alloway (2004) também mostraram potencial de lixiviação de níquel em estudo com colunas de um solo arenoso, argumentando que as forças relativamente fracas de retenção pela fase sólida do solo não é capaz de fixar este elemento.

Assim como níquel, o cádmio não apresentou diferenças entre os tratamentos utilizados para os teores nas camadas do solo avaliadas (Tabela 7). O Cd é considerado móvel no solo, mas em condições de baixa competição pelas atrações das partículas do solo, podem apresentar-se adsorvido em frações da matéria orgânica, minerais silicatados e óxidos (COSTA et al., 2007). O solo em que foi conduzido o experimento (Latosolo Vermelho Amarelo de textura argilosa) é rico em óxidos de ferro e minerais primários de argila (ANJOS; PEREIRA, 2013) e, com a adição do biossólido, elevou-se o teor de matéria orgânica, então complexando o metal pesado o qual não foi possível ser extraído pelo método analítico utilizado, e igualando os valores nos diferentes tratamentos. Na aplicação do biossólido, também se adiciona compostos inorgânicos capazes de adsorver metais em transição, como os óxidos de Mn e Fe, que com o passar do tempo aumenta a cristalinidade, tornando estes compostos menos solúveis (OLIVEIRA et al., 2003).

Merlino et al. (2010) encontraram que na aplicação de $10,0$ e $20,0 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido os teores de Cr e Pb foram elevados nas camadas superficiais, mas não alterou o teor de cádmio. Os autores evidenciam que a mobilidade de um metal pesado é uma característica intrínseca do elemento, expressa em função das características do ambiente em que se encontra e que os fatores mais importantes na mobilidade do Cd no perfil do solo são o pH e o potencial de oxidação. Nogueira et al. (2008) também não encontraram efeitos das doses de biossólido aplicadas por nove anos consecutivos no teor de cádmio em um Latossolo Vermelho eutrófico. Oliveira et al. (2003) mencionam que os latossolos apresentam grande quantidade de colóides, o que retém maiores teores de Cd, promovendo a estabilização do sistema de forma mais acelerada, o que justifica os valores estatisticamente iguais entre os tratamentos.

Do mesmo modo, Andrade e Mattiazzo (2000) encontraram teor de cádmio quando aplicou de $10,0$ a $40 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de biossólido nas entre linhas de povoamento de *Eucalyptus grandis*, argumentando que se existe o metal pesado no solo, este estaria em

teores abaixo de $0,18 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, limite do método analítico utilizado (Mehlich 3). Mebs et al. (2007), também não detectaram teores de cádmio na disposição de resíduos de fundição em dois solos diferentes (arenoso e argiloso) no estado de Santa Catarina, utilizando o método de espectrometria de absorção atômica.

Resultado diferente foi encontrado por Reis (2014), estudando os efeitos de aplicações sucessivas de doses crescentes de bio sólido durante 15 anos, onde notou que o teor de cádmio no tratamento com a adubação química foi superior aos tratamentos com o bio sólido, por o metal pesado estar associado ao ácido fúlvico presente na matéria orgânica. Nava et al. (2011), utilizando diferentes adubos químicos acrescidos com micronutrientes, em Latossolo Vermelho distroférrico, verificaram que estes fertilizantes propiciaram a elevação dos teores de cádmio acima dos limites estabelecidos, contaminando o solo.

A adição de $3,0 \text{ L} \cdot \text{cova}^{-1}$ do bio sólido proporcionou acréscimos nos teores de chumbo para a camada de 0-25 cm, sendo significativamente superior a testemunha e a adubação com o superfosfato simples. Nas camadas inferiores a esta não ocorreu diferenças significativas para a concentração deste elemento (Tabela 7). O Pb possui maior afinidade com as hidroxilas na superfície das partículas do solo, com alta retenção, baixa mobilidade, biodisponibilidade e solubilidade. Com o tempo, o Pb fica menos extraível do solo aumentando a estabilidade dos sistemas com o período de incubação (OLIVEIRA et al., 2003). Dessa forma, os metais pesados adicionados por aplicações de bio sólido tendem a permanecer na zona de incorporação do resíduo ao solo (abrangência da cova de plantio) como resultado da interação com os óxidos, minerais argilas e matéria orgânica (MACIEL et al., 2012).

Outro aspecto a se considerar em relação à aplicação do bio sólido e as concentrações de chumbo nas camadas mais profundas é que, quanto maior a quantidade de matéria orgânica, maior será a retenção do metal nas camadas superficiais do solo, pela capacidade de complexar os metais, reduzindo a mobilidade no perfil do solo (MERLINO et al., 2010). Igualmente, a aplicação do bio sólido correspondeu a 1,59 vezes a quantidade de fósforo presente nas 210,0 g de SS, e, segundo Nava et al. (2011), o P além de aumentar a adsorção e diminuir a mobilidade do chumbo, induz a formação de compostos insolúveis. Estes autores ainda argumentam que o uso de fertilizantes ricos em fósforo em solos contaminados com chumbo é uma alternativa de reduzir a biodisponibilidade desse elemento, graças à formação de fosfato de chumbo (piromorfita).

A ausência de diferenças nas camadas mais profundas também pode ser explicada pelos fertilizantes fosfatados conterem metais pesados da rocha que os originou ou dos ingredientes usados na industrialização do fertilizante (CAMPOS et al., 2005; GONÇALVES, 2009). Collier et al. (2004) identificaram acúmulo de Pb na camada de 0-5 cm em Gleissolo sob cultivo de *Psidium guajava* com a aplicação de lodo de esgoto durante onze anos consecutivos. Merlino et al. (2010) encontraram que na aplicação de $10,0$ e $20,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de bio sólido ocorreu elevação dos teores de Pb na camada de 0-20 cm do solo. Oliveira et al. (2005) mostraram acúmulos de chumbo na camada de 0-20 cm aplicando bio sólido durante cinco anos em um Latossolo Vermelho distrófico. Silva et al. (2006), em Latossolo, com a aplicação do lodo de esgoto durante três anos consecutivo, verificaram que os teores totais de Pb no solo sofreram poucas alterações. Oliveira e Mattiazzo (2000), Ferreira et al. (2003) e Nogueira et al. (2008) não encontraram efeitos da adição de bio sólido ao solo, ou os teores ficaram abaixo dos limites estipulados para os métodos de extração utilizados.

Mesmo na aplicação da maior dose de biossólido ao solo ($3,0 \text{ L} \cdot \text{cova}^{-1}$) os níveis dos metais cromo, níquel, cádmio e chumbo não foram superiores aos limites estipulados pela Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para o acúmulo de metais pesados no solo pela aplicação de lodos de esgoto (BRASIL, 2006), correspondendo a valores muito abaixo do ponto mínimo, conforme demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7: Concentração média de metais pesados no solo de restauração florestal após 12 meses da aplicação de $3,0 \text{ L} \cdot \text{cova}^{-1}$ de biossólido

| Metal pesado | Teor no solo ¹ | Limite permitido ² | Percentual do limite |
|--------------|--|-------------------------------|----------------------|
| | ----- $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ ----- | ----- | ----- % ----- |
| Cromo | 0,00 | 61,6 | - |
| Cádmio | 0,15 | 1,6 | 9,4 |
| Níquel | 0,30 | 29,6 | 1,0 |
| Chumbo | 0,18 | 16,4 | 1,1 |

Análises químicas realizadas através de extrator Mehlich¹. ¹Concentração da camada de 0 a 25 cm. ²Limite de concentração máxima estipulada pela Resolução CONAMA 375/2006 (BRASIL, 2006). Cr, Ni, Cd e Pb: extrator Mehlich -1.

O acúmulo de metais pesados no solo, em razão de aplicações sucessivas de lodo de esgoto, é um dos aspectos que mais causam preocupação em relação à segurança ambiental, necessária para a viabilização do uso deste resíduo na agricultura (SILVA et al., 2006; COSCIONE et al., 2010; COSTA; COSTA, 2011). No entanto, na restauração florestal o número de vezes que se realizam adubações é menor e mais espaçado do que em culturas agrícolas (RODRIGUES et al., 2009), portanto, a quantidade de elementos potencialmente nocivos adicionados será menor, diminuindo os riscos de contaminação. Merlino et al. (2010), com a aplicação de diferentes dosagens de biossólido em um Latossolo Vermelho distrófico ao longo de 11 anos, também verificaram que a dosagem de $20,0 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$, não elevou os níveis de metais pesados acima do estipulado pela legislação, mas as concentrações de Cr ($94,94 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), Cd ($0,69 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) e Pb ($14,92 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) foram superiores as encontradas no presente trabalho para a camada de 0-25 cm (Tabela 8).

A concentração de metais pesados é influenciada pelos atributos do solo, tais como pH, teor de matéria orgânica, textura e composição das argilas, potencial de redox, competição entre metais pelos sítios de adsorção, reações de complexação, temperatura e atividade microbiana (SILVA et al., 2006). Estes atributos exercerão influência sobre as taxas de decomposição dos resíduos orgânicos e, por conseguinte, sobre a solubilidade, mobilidade e concentração dos metais pesados no solo (NOVAIS et al., 2007; NOGUEIRA et al., 2008; RAIJ, 2011). Os constituintes inorgânicos do biossólido adsorvem os metais pesados, não sendo esperado um aumento na disponibilidade com o tempo. Segundo Silva et al. (2006), o que acontece é o contrário, onde existe a tendência da diminuição nos teores dos metais à medida que o processo de oclusão do metal nas superfícies dos precipitados se forma, o que também pode ter ocasionado os resultados encontrados.

Oliveira et al. (2003), observaram que, com o tempo de incubação do biossólido, ocorreu decréscimo da fração solúvel, com o aumento da fração residual, indicando decréscimo na solubilidade dos metais pesados com o passar do tempo, reduzindo os riscos de contaminação. Andrade e Matiazzo (2000) mostraram que a aplicação do

biossólido entre linhas em povoamento de *Eucalyptus grandis* não promoveu movimentação de metais pesados em Latossolo Vermelho Amarelo de textura arenosa.

Dessa forma, na aplicação de 3,0 L_{planta}⁻¹ de biossólido como fertilizante de plantio é um modo de alcançar crescimentos satisfatórios do povoamento, e garantir a segurança ambiental, o que irá reduzir os custos com a adubação na restauração florestal e o reaproveitamento de um material potencialmente poluidor.

5. CONCLUSÃO

O biossólido favoreceu o crescimento em altura, diâmetro ao nível do solo e área de copa das espécies estudadas quando utilizou a dose de 3,0 L_{planta}⁻¹, como adubação de plantio.

As espécies estudadas obtiveram poucas respostas à adubação química, utilizando 210 g_{planta}⁻¹ de superfosfato simples como fertilizante.

A dose de 3,0 L_{planta}⁻¹ de biossólido não proporcionou maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio em relação à profundidade do solo.

Mesmo a maior dose de biossólido não aumentou os teores de níquel e cádmio no solo. No entanto provocou acúmulo de chumbo na camada de 0,0-25 cm de profundidade.

Os teores dos metais pesados no solo com a adição da maior dose de biossólido não ultrapassaram os limites de acumulação estipulados pela legislação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. H. M. **Biossólido na produção de mudas florestais**. 2014. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

AITA, C.; PORT, O.; GIACOMINI, S. J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com uso de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 901-910, 2006.

ALMEIDA, J. C. R. **Nutrição, crescimento, eficiência de uso de água e de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus grandis* fertilizados com potássio e sódio**. 2009. 112f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

ALVES, S. C. N. **Níquel em solos e plantas de milho cultivadas em área tratada com lodo de esgoto durante 15 anos consecutivos**. 2014. 53f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo e nas árvores após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 58, p. 59-72, 2000.

ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G. Principais classes de solo do Estado do Rio de Janeiro. In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do**

Estado do Rio de Janeiro. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, 2013, p. 37-68.

ARTHUR, A. G.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARRETTO, V. C. M.; YAGI, R. Esterco bovino e calagem para formação de mudas de guanandi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 843-850, 2007.

ASHWORTH, D. J.; ALLOWAY B. J. Soil mobility of sewage sludge-derived dissolved organic matter, copper, nickel and zinc. **Environmental Pollution**, Amherst, Massachusetts, EUA, v. 127, n. 1, p. 137-144, 2004.

ASSENHEIMER, A. Benefícios do uso de biossólidos como substratos na produção de mudas de espécies florestais. **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 2, p. 321-330, 2009.

BARONY, F. J. **Biossólido: produção, efeitos no crescimento de mudas de eucalipto e avaliação de risco à saúde humana**. 2011. 176f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BARROS, N. F.; NOVAIS, R. F. (Eds). **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Editora Folha de Viçosa; 1990. 207p.

BEHLING, M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; KISHIMOTO, C. B.; SMIT, L. Eficiência de utilização de nutrientes para a formação de raízes finas e médias em povoamento de teca. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 837-846, 2014.

BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso de lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T.A.R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola de lodo de esgoto - Avaliação após a resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, p. 31-50.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O (Eds.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, 347p.

BEZERRA, F.B. et al. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução – CONAMA. Resolução nº 375/2006. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, n. 167, p. 141-146, 30 ago 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto RADAM Brasil. Folhas Século 21. Juremo: Geomorfologia, pedologias, vegetação e uso potencial da terra**, Brasília, v. 20, 1980, 460 p.

CALDEIRA, M. V. W.; PERONI, L.; GOMES, D. R.; DELARMELINA, W. M.; TRAZZI, P. A. Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 90, n. 93, p. 015-022, 2012a.

CALDEIRA JUNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 1, p. 213-218, 2009.

CAMPOS, D. V. B.; FREIRE, L. R.; ZONTA, E.; EIRA, P. A.; DUQUE, F. F.; DE-POLLI, H.; SOUTO, S. M.; SANTOS, G. A.; ANJOS, L. H. C. Adubos e corretivos. In: FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.; POLIDORO, J. C. **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro**. 2013, Brasília: EMBRAPA; Seropédica: UFRRJ, 2013, p. 107-130.

CAMPOS, M. L.; SILVA, F. N.; FURTINI NETO, A. E.; GUILHERME, L. R. G.; MARQUES, J. J.; ANTUNES, A. S. Determinação de cádmio, cobre, níquel, chumbo e zinco em fosfato de rocha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 361-367, 2005.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo: Embrapa Florestas, v. I e II, 2003. 1039 p.

COLLIER, L. S.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N.; VELLOSO, A. C. X. Efeito do composto de resíduo sólido urbano no teor de metais pesados em solo e goiabeira. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 3, p. 415-420, 2004.

CORRÊA, R. S.; MELO FILHO, B.; BERNADES, R. S. Deposição de esgoto doméstico para controle de poluição e revegetação induzida em área degradada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 252-256, 2000.

COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M (Eds.). **Uso agrícola de lodo de esgoto – Avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. 2010, Botucatu: FEPAF, 2010, 408p.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S. **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o Espírito Santo**. 2011, Vitória: INCAPER, 2011, 96p.

COSTA, C. N.; MEURER, E. J.; BISSANI, C. A.; TEDESCO, M. J. Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos. **Ciência rural**, v.37, p.1323-1328, 2007.

DONAGEMMA, G. K.; RUIZ, H. A.; ALVAREZ V., V. H.; FERREIRA, P. A.; CANTARUTTI, R. B.; SILVA, A. T.; FIGUEIREDO, G. C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de Latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2493-2604, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, Rio de Janeiro, 2006, 306 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTURUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 2ª Edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 393-402, 2007b.

FARIA, L. C. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica**. 2007. 106f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, 432p.

FERREIRA, A. S.; CAMARGO, F. A. O.; TEDESCO, M. J.; BISSANI, C. A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carboníferos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 755-763, 2003.

FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L.; FERREIRA, A. F.; SANTOS, L. D. T. (Eds.). **Manejo integrado de plantas daninhas na cultura do eucalipto**. 2010, Viçosa: Editora da UFV, 2010, 140p.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisa Florestal, 2000.

GONÇALVES, J. L. M.; FIRME, D. J.; NOVAIS, R. F.; RIBEIRO, A. C. Cinética de adsorção de fósforo em solos do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 107-111, 1985.

GONÇALVES, V. C. **Cádmio, chumbo e níquel: teores em fertilizantes fosfatados e fracionamento e sorção em solos do Rio Grande do Sul**. 2009. 147f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GOULART, L. M. L. **Crescimento e qualidade de mudas de ipê-amarelo (*Tabebuia serratifolia* (Vahl.) Nich.), jequitibá-rosa (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) e jequitibá-branco (*Cariniana legalis* (Mart.) Kuntze), em resposta à adubação nitrogenada**. 2011, 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

GUEDES, M. C.; et al. Propriedades químicas do solo e nutrição de eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 267-280, 2006.

IGLESIAS, C. S. M.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, L. R. F. Efeito da natureza do eletrólito e da força iônica na energia livre da reação de adsorção de níquel em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31, p. 897-903, 2007.

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Precipitação diária tempertaura máxima Cordeiro, RJ**. Disponível em:
<<http://www.inmet.gov.br/html/observacoes.php?>> Acesso em 15 julho de 2014.

KAGEYAMA, P.; GANDARA, F. B. Recuperação das Áreas Ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Eds.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2000. p. 249-269.

LOPES, F. A.; SILVA, D. P.; GUERREIRO, J. C. O uso de biossólido em espécies florestais. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 3, n. 6, 2005.

MAAS, K. D. B. **Biossólido como substrato na produção de mudas de timburi**. 2010. 46f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá.

MACEDO, F. G.; MELO, W. J.; MERLINO, L. C. S.; TORRES, L. S.; GUEDES, A. C. T. P.; MELO, G. M. P.; CAMACHO, M. A. Lodo de esgoto como fonte de nitrogênio: concentração no perfil do solo e em plantas de milho. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 17, n. 9, p. 263-268, 2012.

MACIEL, C. A. C.; CAMARGO, O. A.; VIEIRA, S. R.; CHIBA, M. K. Distribuição espacial de cobre, zinco e níquel em Latossolo após quinze anos da aplicação de lodo de esgoto. **Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 4, p. 528-537, 2012.

MAIO, M. M.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, A. L.; PRATES, F. B. S.; RODRIGUES, M. N.; SILVA, H. P.; DIAS, A. N.; FREITAS, C. E. S. Atributos físicos do solo, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 6, p. 823-830, 2011.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. 1980, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 256p. 1980.

MEBS, R.; PINHEIRO, I. G.; PINHEIRO, A. Evolução de metais em dois solos com disposição de resíduos sólidos gerados em indústria de fundição. **Revista de Estudos Ambientais**, Brasília, v. 9, n. 2. P. 51-61, 2007.

MERLINO, L. C. S.; MELO, W. J.; MACEDO, F. G.; GUEDES, A. C. T. P.; RIBEIRO, M. H.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Bário, cádmio, cromo e chumbo em plantas de milho e em Latossolo após onze aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 2031-2039, 2010.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; CARNEIRO, J. P.; FERNANDES, L. A.; RODRIGUES, M. N. Teores de metais pesados no solo e em girassol adubado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 3, p. 294-300. 2014.

NASCIMENTO, D. F.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA NETO, S. N.; MOREIRA, R. T. S.; ALONSO, J. M. Crescimento inicial de seis espécies florestais em diferentes espaçamentos. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 1, p. 159-165, 2012.

NAVA, I. A.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; GUERINI, V. L.; SCHWANTES, D. Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 35, n. 5, p. 884-892, 2011.

NOBREGA, R. S. A. et al. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, p. 239-246, 2007.

NOGUEIRA, T. A. R.; OLIVEIRA, L. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MELO, G. M. P.; MELO, V. P.; MARQUES, M. O. Cádmio, cromo, chumbo e zinco em plantas de milho e em Latossolo após nove aplicações anuais de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 2195-2207, 2008.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J.; NUNES, F. N. Fósforo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTURUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Eds.). **Fertilidade do Solo**. 2ª Edição. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Mobilidade de metais pesados em Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 807-812, 2001.

OLIVEIRA, C.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; MAZUR, N. Solubilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto enriquecido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 171-181, 2003.

OLIVEIRA, K. W.; MELO, W. J.; PEREIRA, G. T.; MELO, V. P.; MELO, G. M. P. Heavy metals in oxisols amended with biosolids and cropped with maize in a long-term experiment. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 62, n. 4, p. 381-388, 2005.

OLIVEIRA, N. S. A. **Influência do manejo da *Brachiaria* spp sobre o crescimento inicial de espécies florestais**. 2010. 31p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

PAIVA, A. V.; et al. Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 499-511, 2009.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. Valor agregado ao lodo de esgoto. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 1, p. 121-129, 2009.

RAIJ, B. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. 2011, Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 420p. 2011.

REIS, T. C. **Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl₂ e biossólido**. 2002. 105f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

REIS, I. M. S. **Cádmio, cobre e cromo em solo e plantas de milho após quinze anos de aplicações anuais de lodo de esgoto**. 2014. 69f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

REYES, J.; MARTINEZ, S.; SASTRE, A.; BIGERIEGO, M.; PORCEL, M. A. Resultados preliminares de la aplicación de lodos de depuradoras como fertilizante y su

implicación en la migración de nitratos a través de la zona no saturada. **Geogaceta**, Salamanca, v. 20, n. 6, p. 1285-1287, 1996.

ROCHA, G. N.; GONÇALES, J. L. M.; MOURA, I. M. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis*, fertilizado com biossólido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 623-639, 2004.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I (Eds). **Pacto pela restauração da Mata Atlântica – Referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 2009, São Paulo: LERF, 2009. 259p.

ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A.; FOLONI, J. S. S.; CALONEGO, J. C. Lixiviação de potássio no solo de acordo com suas doses aplicadas sobre palha de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 813-819, 2006.

SANTOS, F. A. M. **Manejo de *Urochloa spp* em povoamentos florestais para restauração**. 2013, 53f. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Composto de lodo de esgoto para a produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 613-621, 2012b.

SCHLINDWEIN, J. A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 4, p. 611-617, 2000.

SILVA, C. A.; RANGEL, O. J. P.; BETTIOL, W.; MANZATTO, C. V.; BOEIRA, R. C.; DYNIA, J. F. Dinâmica de metais pesados em Latossolo adubado com lodo de esgoto e em plantas de milho. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O (Eds.). **Lodo de esgoto: Impactos ambientais na agricultura**. 2006, Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006, p. 45-78.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; MORREIRA, R. M. Crescimento de *Eucalyptus grandis* tratados com diferentes doses de lodo de esgoto úmido e seco, condicionado com polímeros. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 79-88, 2008a.

SILVA, V. B.; SILVA, A. P.; DIAS, B. O.; ARAÚJO, J. L.; SANTOS, D.; FRANCO, R. P. Decomposição e liberação de N, P, e K de esterco bovino e de cama de frango isolados ou misturados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 38, p. 1537-1546, 2014.

SOUZA, T. R.; BÔAS, R. L. V.; QUAGGIO, J. A.; SALOMÃO, L. C.; FORATTO, L. C. Dinâmica de nutrientes na solução do solo em pomar fertirrigado de citros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 6, p. 846-854, 2012.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C. H.; ALOVISI, A. A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLOMBI, R.; GONÇALVES, E. O. Qualidade de mudas de *Murraya paniculata* produzidas em diferentes substratos. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 3, p. 621-630, 2012.

VAZ, L. M. S.; GONÇALVES, J. C. L. Uso de bioossólidos em povoamentos de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, p. 747-758, 2002.

VELASCO-MOLINA, M.; MATTIAZZO, M. E.; ANDRADE, C. A.; POGGIANI, F. Nitrogênio e metais pesados no solo e em árvores de eucalipto decorrentes da aplicação de bioossólido em plantio florestal. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 71, p. 25-35, 2006.

VELOSO, H. P.; FILHO, A. L. R. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 1991, 82p.

ZONTA, E.; BRASIL, F. C.; GOI, S. R.; ROSA, M. M. T. O sistema radicular e suas interações com o ambiente edáfico In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição Mineral de Plantas**. 2006, Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006, p. 07-52.