

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA,  
MODIFICAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DE METAIS PESADOS  
NO SOLO E NA PLANTA, EM RESPOSTA Á APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO.**

**THALITA FERNANDA SAMPAIO**

Dissertação apresentada à Faculdade de  
Ciências Agronômicas da UNESP - Câmpus  
de Botucatu, para obtenção do título de  
Mestre em Ciência Florestal.

BOTUCATU - SP  
(Junho - 2010)

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”  
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS  
CÂMPUS DE BOTUCATU

**CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA,  
MODIFICAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DE METAIS PESADOS  
NO SOLO E NA PLANTA, EM RESPOSTA À APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO.**

**THALITA FERNANDA SAMPAIO**  
**Engenheira Florestal**

**Orientador: Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da UNESP - Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Mestre em Ciência  
Florestal.

**BOTUCATU – SP**

**(Junho - 2010)**

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S192c Sampaio, Thalita Fernanda, 1981-  
Crescimento de espécies nativas da Mata Atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta à aplicação de lodo de esgoto / Thalita Fernanda Sampaio. - Botucatu : [s.n.], 2010

viii, 84 f. : tabs., gráfs., fots. color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2010  
Orientador: Iraê Amaral Guerrini  
Inclui bibliografia.

1. Biossólidos. 2. Matéria orgânica. 3. Espécies arbóreas. 4. Recuperação de área degradada. 5. Recuperação do solo. I. Guerrini, Iraê Amaral. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS**  
**CAMPUS DE BOTUCATU**

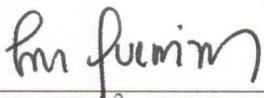
**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: CRESCIMENTO DE ESPÉCIES NATIVAS DA MATA ATLÂNTICA,  
MODIFICAÇÕES DE ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E DE  
METAIS PESADOS NO SOLO E NA PLANTA, EM RESPOSTA À  
APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO.**

**ALUNA: THALITA FERNANDA SAMPAIO**

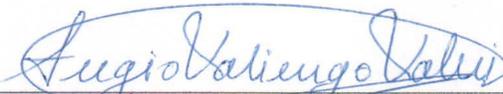
**ORIENTADOR: PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI**

Aprovado pela Comissão Examinadora



---

PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



---

PROF. DR. SÉRGIO VALIENGO VALERI



---

PROF. DR. JOSÉ LEONARDO DE MORAES GONÇALVES

Data da Realização: 22 de junho de 2010.

*DEDICO*

*À DEUS*

*"Temos por PRINCÍPIO evoluir o homem, porque não acreditamos que o homem seja produto do meio, mas sim que o meio é produto do Homem.*

*Acreditamos que o homem que é produto do meio é homem com "h" minúsculo, e um meio digno se faz com Homens com "H" maiúsculo. Nós acreditamos que devemos evoluir o homem, porque a EVOLUÇÃO é a meta do Universo; é medida Universal.*

*Acreditamos que o homem tem uma razão de ser, e por isso acreditamos no equilíbrio entre o corpo e o espírito. Somos temperados em relação à unidade humana.*

*Acreditamos que tudo tem uma razão de ser e que o homem na face da Terra também tem uma razão de estar. A procura desta RAZÃO leva-nos ao CRIADOR e, portanto, ADMITIMOS A EXISTÊNCIA DO CRIADOR.*

*Por admitirmos isto, sabemos que não somos deuses; no máximo, quando evoluídos, podemos ser filhos de Deus. Por isso tudo respeitamos até a mais humilde criatura de todos os reinos e, dado esse Respeito, que advém da compreensão do Todo, respeitamos a vida em todos os aspectos e em todas as suas manifestações.*

*As nossas reações seguem padrões de nossos PRINCÍPIOS, e por isso não agredimos os que nos contrariam: simplesmente retiramo-nos e deixamos espaço para aqueles que ainda dele necessitam.*

*Louvamos a LIBERDADE, porque sabemos que ela é fruto da JUSTIÇA, que só se consegue com muita CORAGEM de empreender um caminho em direção à VERDADE, aquela que deve existir e que é SUPREMA E ABSOLUTA a nível de todos os possíveis relativos."*

*(Dr. Celso Charuri)*

## OFEREÇO

### A MINHA QUERIDA FAMÍLIA

*Aos meus pais Marilda Pereira Sampaio e Sebastião Abel Sampaio*

*E ao meu irmão Thiago Fernando Pereira Sampaio*

*Por tanto amor e dedicação*

*Por tantos exemplos e ensinamentos*

*Por tanta garra e coragem em nos manter unidos*

*Por serem, sempre, o lírio no meio do lodo*

*Por me ensinarem o real sentido da palavra Família*

*Por me ensinarem a amar, a respeitar e a agradecer sempre*

*E por abdicarem cada um de suas vontades pelo todo*

*Ao meu avô Abel Corrêa Sampaio (in memorian) por fazer parte de toda minha vida, por toda convivência, conselhos, cuidados e ensinamentos e aos meus avós*

*Hugo Pereira e Maria Olga Botelho Pereira (in memorian) pela pouca, mas intensa convivência, conselhos e ensinamentos... saudades!*

*...AMO VOCÊS !!!*

## **AGRADEÇO**

*Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini pelos ensinamentos, orientação, confiança e, acima de tudo, pela amizade. Tenho enorme admiração pelo prof. Iraê.*

*Ao meu querido Julio Cesar Bogiani, pela amizade, amor, dedicação, compreensão e paciência, e pela inestimável ajuda com a dissertação. Também o admiro muito.*

*Aos Amigos Regina M. Leite, Cecília Castro, Francine Vercese, Marcelo Giroto, Rosilaine Araldi, Fábio Kagi, Clarice Backs, Alessandro Santos e Suenon Pereira pela convivência, companheirismo e ajuda neste ou em outros trabalhos realizados.*

*Aos funcionários e, também, amigos do dpto de Ciência do Solo e Ciência Florestal: Selma Miranda, Silvia, Silvinha, Lurdinha, Jair, Prof. Maria Helena Moraes, Prof. Dirceu M. Fernandes, Prof. Roberto Lyra Villas Boas e Prof. Renata Fonseca; ao pessoal do Núcleo de Pesquisas Avançadas em Matologia (NUPAM), em especial ao Prof. Edivaldo Veline e Maria Lúcia Trindade, e ao Antônio Vicente da Incubadora Tecnológica de Botucatu, que sempre estiveram prontos a me receber e auxiliar no que fosse possível.*

*À Universidade Estadual Paulista - UNESP, à Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu e ao Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, pela oportunidade de realização do Mestrado.*

*À Universidade de Santiago de Compostela - USC em nome dos Profs. Felipe Mácias Vázquez e Xosé Lois Otero Peres, por permitirem que eu realizasse as análises de metais no solo em suas dependências, pela receptividade e ensinamentos. Aos funcionários do laboratório de Edafologia e Química agrícola da USC, em especial à Maria Santiso e Natividad Matila, pela ajuda e amizade.*

*À Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão de bolsa de estudos.*

*À Empresa Suzano de Papel e Celulose, pelo fornecimento da área para implantação do experimento, e pelos funcionários em dias de coleta.*

*Ao Fernando Carvalho de Oliveira e à ETE Jundiá, pelo auxílio técnico e fornecimento do lodo de esgoto para a utilização no experimento.*

*Em fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, e a **Deus** por colocar cada uma destas pessoas no meu caminho... **Meus sinceros agradecimentos!***

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
1. RESUMO.....	1
2. SUMMARY.....	2
3. INTRODUÇÃO.....	3
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
4.1. Áreas degradadas.....	5
4.2. Lodo de esgoto.....	6
4.3. Metal pesado.....	9
4.4. Metal pesado no solo.....	10
4.5. Metal pesado nas plantas.....	12
4.6. Efeito do lodo de esgoto nos atributos físicos do solo.....	14
4.7. Áreas degradadas x espécies arbóreas x lodo de esgoto x metal pesado.....	16
4.8. Crescimento de espécies arbóreas.....	17
4.9. Características das espécies estudadas.....	18
4.9.1. Pioneiras.....	18
4.9.1.1. Capixingui ( <i>Croton floribundus</i> ).....	18
4.9.1.2. Aroeira-pimenteira ( <i>Schinus terebinthifolius</i> ).....	19
4.9.2. Secundárias.....	19
4.9.2.1. Canafístula ( <i>Peltophorum dubium</i> ).....	19
4.9.2.2. Cedro rosa ( <i>Cedrella fissilis</i> ).....	20
4.9.2.3. Mutamba ( <i>Guazuma ulmifolia</i> ).....	20
4.9.2.4. Angico-vermelho ( <i>Anadenanthera macrocarpa</i> ).....	20
4.9.3. Climácicas.....	21
4.9.3.1. Copaíba ( <i>Copaifera langsdorffii</i> ).....	21
4.9.3.2. Jatobá ( <i>Hymenaea courbaril</i> ).....	22
4.9.3.3. Jequitibá-branco ( <i>Cariniana estrellensis</i> ).....	23
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
5.1. Localização da área experimental.....	24
5.2. Delineamento experimental e descrição dos tratamento.....	24
5.3. Escolha das espécies.....	27

5.4. Condução do experimento.....	28
5.4. Variáveis avaliadas.....	29
5.4. Forma de análises dos resultados.....	30
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
6.1. Crescimento.....	31
6.2. Teores totais de metais pesados no solo.....	46
6.3. Teores disponíveis de metais pesados no solo.....	48
6.4. Teores foliares de metais pesados.....	50
6.5. Análise física do solo.....	52
7. CONCLUSÕES.....	61
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
9. APÊNDICE.....	82

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Análise química e física do solo antes da implantação do experimento.....	25
TABELA 2. Composição química do lodo de esgoto (com base na matéria seca) utilizado no experimento e valores de concentração máxima permitida (CMP) pela legislação.....	26
TABELA 3. Quantidade total de nutrientes e elementos tóxicos aplicados no solo.....	27
TABELA 4. Espécies utilizadas no experimento.....	27
TABELA 5. Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 6 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	33
TABELA 6. Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 6 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	33
TABELA 7. Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 12 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	36
TABELA 8. Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 12 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	36
TABELA 9. Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 18 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	39
TABELA 10. Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 18 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	39
TABELA 11. Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 36 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	45
TABELA 12. Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 36 me-	

ses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.....	45
TABELA 13. Teores totais de metais pesados no solo 6 meses após aplicação dos tratamentos.....	47
TABELA 14. Teores totais de metais pesados no solo 12 meses após aplicação dos tratamentos.....	47
TABELA 15. Teores totais de metais pesados no solo 18 meses após aplicação dos tratamentos.....	48
TABELA 16. Teores disponíveis de metais pesados no solo 6 meses após aplicação dos tratamentos.....	49
TABELA 17. Teores disponíveis de metais pesados no solo 12 meses após aplicação dos tratamentos.....	50
TABELA 18. Teores disponíveis de metais pesados no solo 18 meses após aplicação dos tratamentos.....	50
TABELA 19. Teores médios de metais pesados nas folhas das espécies 6 meses após aplicação dos tratamentos.....	52
TABELA 20. Teores médios de metais pesados nas folhas das espécies 12 meses após aplicação dos tratamentos.....	52
TABELA 21. Estabilidade de agregados do solo após 6 meses da aplicação dos tratamentos.....	54
TABELA 22. Estabilidade de agregados do solo após 12 meses da aplicação dos tratamentos.....	54
TABELA 23. Estabilidade de agregados do solo após 18 meses da aplicação dos tratamentos.....	56
TABELA 24. Porcentagem de água retida no solo 6 meses após a aplicação dos tratamentos.....	57
TABELA 25. Porcentagem de água retida no solo 12 meses após a aplicação dos tratamentos.....	57
TABELA 26. Porcentagem de água retida no solo 18 meses após a aplicação dos tratamentos.....	57
TABELA 27. Porosidade no solo 6 meses após a aplicação do lodo de esgoto.....	58

TABELA 28. Porosidade no solo 12 meses após a aplicação do lodo de esgoto.....	59
TABELA 29. Porosidade no solo 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto.....	59
TABELA 30. Teor de matéria orgânica no solo antes da implantação do experimento e nos 3 períodos de avaliação.....	60

## 1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar e monitorar a eficiência do lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí na recuperação de solos degradados: física do solo, desenvolvimento de diferentes espécies arbóreas da Mata Atlântica (pioneiras, secundárias e clímax), e presença de metais pesados no solo e nas espécies. O experimento foi instalado numa área de solo arenoso da companhia Suzano de Papel e Celulose no município de Itatinga-SP. Os tratamentos testados foram: doses de lodo de esgoto em base seca (2,5; 5; 10; 15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> + suplementação com K), suplementação com K, adubação convencional (NPK) e testemunha absoluta. As espécies avaliadas foram: *Croton floribundus*, *Schima terebinthifolius*, *Peltophorum dubium*, *Cedrella fissilis*, *Guazuma ulmifolia*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Copaífera langsdorffii*, *Hymenaea courbaril* e *Cariniana estrellensis*. As maiores doses de lodo de esgoto influenciaram nas características físicas do solo, até aos 12 meses após a aplicação do lodo, bem como no crescimento inicial das espécies e nos teores de metais no solo. As espécies pioneiras apresentaram melhor resposta à aplicação do lodo. As espécies secundárias e as climáticas apresentaram bom desenvolvimento, porém crescimento inicial lento. As maiores doses do lodo influenciaram nos teores totais e disponíveis de metais no solo, não influenciando, porém, nos teores encontrados nas plantas.

Palavras-Chave: Biossólidos, matéria orgânica, espécies arbóreas, recuperação do solo.

**GROWTH OF NATIVE ATLANTIC FOREST SPECIES, CHANGES OF SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES AND HEAVY METALS IN SOIL AND IN PLANT, IN RESPONSE TO OF SEWAGE SLUDGE APPLICATION.** Botucatu, 2010. 94 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

**Author:** THALITA FERNANDA SAMPAIO

**Adviser:** IRAÊ AMARAL GUERRINI

## **2. SUMMARY**

This study aimed to evaluate and monitor the efficiency of sewage sludge from the Jundiaí Wastewater Treatment Sewage in the recovery of degraded soils: soil physics, it's influence on the development of different tree species of the Atlantic Forest (pioneer, secondary and climax), and the presence of heavy metals in soil and tree. The experiment was conducted in an area of sandy soil of the Suzano Papel e Celulose company in Itatinga-SP. The treatments were: doses of sewage sludge on dry reference (2,5; 5; 10; 15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> + K supplement), only K supplement, conventional fertilizer (NPK) and a treatment control. The species studied were: *Croton floribundus*, *Schima terebinthifolius*, *Peltophorum dubium*, *Cedrella fissilis*, *Guazuma ulmifolia*, *Anadenanthera macrocarpa*, *Copaífera langsdorffii*, *Hymenaea courbaril* e *Cariniana estrellensis*. Higher doses of sewage sludge improved the soil physical characteristics until 12 month before sludge application, in the initial growth of the species and levels of heavy metals in the soil. Pioneer species showed a better response to the sewage sludge applications. Secondary and climax species showed good growth, however the initial growth was slow. Higher doses of sewage sludge affected the total and available heavy metals content in the soil, however, had no effect on the levels found in plants.

Key words: sewage sludge, organic matter, tree species, soil recovery.

### 3. INTRODUÇÃO

O surgimento de áreas degradadas tem aumentado consideravelmente ao longo dos anos, ocasionando inúmeros prejuízos ao meio ambiente. As áreas degradadas caracterizam-se pela remoção do horizonte superficial do solo, o que ocasiona perda de nutrientes e de matéria orgânica, ausência de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, fatores que favorecem a atuação dos processos erosivos e a acidificação do substrato (MARX et al., 1995).

O reflorestamento destas áreas com a utilização de espécies arbóreas de classes ecológicas distintas eleva a ciclagem dos nutrientes e a absorção deles no solo, diminuindo as perdas por lixiviação e permitindo melhor nutrição e estabelecimento das espécies na área a ser recuperada.

O procedimento para recuperação de áreas degradadas é lento e está relacionado à capacidade de restabelecimento físico, químico e biológico do solo. Existem várias técnicas de recuperação destas áreas, e a maioria combina práticas mecânicas, que consistem no rompimento das camadas compactadas e adição de matéria orgânica. A aplicação de materiais orgânicos, como o lodo de esgoto, melhora as características físicas e químicas do solo em longo prazo, devido, entre outros fatores, a mineralização dos nutrientes e a ação cimentante destes materiais.

A ciclagem e decomposição da matéria orgânica, processos difíceis de iniciar em solos degradados, ocorrem rapidamente com a aplicação do lodo de esgoto (SEAKER e SOPPER, 1988; HARRISON et al, 2003).

O lodo de esgoto é o produto final do tratamento realizado nas estações de tratamento de esgoto (ETEs). É um resíduo gerado a partir do tratamento de outros resíduos e pode ser utilizado como fornecedor de nutrientes e condicionador de solos, em áreas florestais principalmente.

Além dos macro e micronutrientes e microorganismos decompositores da matéria orgânica, também há presença de metais pesados na composição do lodo de esgoto, e, ao mesmo tempo em que o seu emprego no solo pode trazer vantagens, pode também trazer prejuízos se, por ventura, viabilizar aumento na absorção e acúmulo de metais pesados no solo e nas plantas.

Considerando que o descarte do esgoto produzido é um grande problema no mundo, uma alternativa encontrada é a sua reciclagem como fertilizante e condicionador do solo. Um ponto positivo da utilização de lodo de esgoto na silvicultura é o fato de que as espécies florestais não são utilizadas na alimentação humana e nem de animais, diminuindo, os riscos de contaminações.

O objetivo deste trabalho foi avaliar e monitorar a eficiência de doses de lodo de esgoto proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto de Jundiaí (CSJ) em comparação com o adubo mineral, na recuperação de solos degradados, nas características físicas do solo, sua influência no desenvolvimento de diferentes espécies arbóreas da Mata Atlântica (pioneiras, secundárias e clímax), e a presença de metais pesados no solo e nas espécies.

## **4. REVISÃO DA LITERATURA**

### **4.1. Áreas degradadas**

As áreas degradadas caracterizam-se pela remoção do horizonte superficial do solo, o que ocasiona perda de nutrientes e de matéria orgânica, ausência de atividade biológica e propriedades físicas alteradas, fatores que favorecem a atuação dos processos erosivos e a acidificação do substrato (MARX et al., 1995).

Degradação, segundo o manual de diretrizes para recuperação de áreas degradadas (IBAMA, 1990), ocorre “... quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo perdida, removida ou enterrada e a qualidade e regime de vazão do sistema hídrico, alterados, juntamente com a inviabilização sócio-econômica da área”.

Um ecossistema degradado é aquele que, após distúrbios teve eliminado, junto com a vegetação, os seus meios de regeneração bióticos, como o banco de sementes, banco de plântulas, chuvas de sementes e rebrota, apresentando dificuldade de retornar ao seu estado original (JESUS, 1994). Intervenções que causam uma diminuição no teor da matéria orgânica das camadas iniciais do solo, também podem ser consideradas como processos degradantes do solo. Formas de manejo do solo que não promovam a reposição da matéria orgânica, tornam a camada superficial susceptível a processos erosivos (TSUTIYA, 2001).

Além do uso de técnicas corretas de plantio, o manejo da matéria orgânica é fundamental para que se ofereçam respostas satisfatórias à recuperação ambiental, porém a necessidade nutricional das espécies arbóreas brasileiras ainda é pouco conhecida. Há espécies que ocorrem somente em solos ácidos, outras que são restritas aos solos calcários e outros indiferentes quanto à fertilidade do solo (HARIDASAN, 2000).

A recuperação de áreas degradadas ou perturbadas abrange conceitos de resgate da forma e da função da vegetação. A reposição e o crescimento de árvores em ambientes florestais contribuem para a recuperação da forma ou da fisionomia ou da paisagem. Quando os ciclos de nutrientes e outros retomam seus níveis de auto-regulação, há recuperação da função, com o retorno de espécies nativas propiciando o retorno das funções da comunidade vegetal, contribuindo para o regresso do fluxo de pólen e sementes, frutos e outros propágulos, tornando o processo de recuperação contínuo e auto-sustentável (FELFILI, et al., 2002).

Muitos estudos demonstram que as aplicações de materiais orgânicos, como o lodo de esgoto, aumentam o conteúdo de matéria orgânica e melhoram a estrutura e a fertilidade do solo a longo prazo. A ciclagem e decomposição da matéria orgânica, processos difíceis de iniciar em solos degradados, ocorrem rapidamente com a aplicação do lodo de esgoto (SEAKER e SOPPER, 1988; HARRISON et al, 2003).

#### **4.2. Lodo de esgoto**

O lodo de esgoto é constituído de hidróxido de Al, fosfatos, precipitados de hidróxidos e colônias de bactérias remanescentes. Apresenta alto teor de matéria orgânica, baixos teores de Na e as relações Ca + Mg/K são muito elevadas, sendo um resíduo com elevados teores de alguns elementos essenciais para o crescimento vegetal (NOLASCO et al., 2000). O autor justifica a utilização do lodo dizendo que seu uso aumenta o conteúdo de matéria orgânica e melhora a estrutura e a fertilidade do solo em longo prazo.

Em experimento utilizando lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas por mineração de rochas calcáreas, Wisniewski et al. (1997) concluíram que o lodo de esgoto incorporado a 0,10 m de profundidade no solo promoveu ligeiro aumento dos teores de fósforo, magnésio, capacidade de troca catiônica, outros macronutrientes e teores foliares de magnésio, favorecendo a vegetação local.

Seaker e Sopper, (1988) atribuem o sucesso da recuperação dos solos com a aplicação de lodo de esgoto a três fatores relacionados ao seu conteúdo orgânico: o N que está numa forma orgânica lentamente disponível; o alto conteúdo de C orgânico que é uma fonte imediata de energia para os microorganismos e à matéria orgânica que melhora as péssimas condições físicas dos solos, resultantes da remoção e compactação da camada superficial.

Sobre o tempo de recuperação dos solos degradados Visser (1985), diz que dependendo da quantidade de solo superficial remanescente, é possível uma recuperação significativa do solo dentro de 3 a 5 anos através de um manejo intensivo e uso de materiais orgânicos que aceleram o crescimento das plantas e os processos de formação dos solos. Segundo Seaker e Sopper (1988), a recuperação da atividade e da população microbiana do solo pode ocorrer dentro de 2 a 3 anos após a aplicação do lodo de esgoto.

Machado et al. (2004) em levantamento de dados sobre produção de lodo de esgoto em estações de tratamento de efluentes de 17 estados brasileiros e do distrito federal, realizado em 2001, relataram que os lodos de esgotos eram de boa qualidade e que poderiam ser utilizados na agricultura, porém cerca de 50% do lodo produzido pelos sistemas informados eram dispostos em aterros.

Segundo Tsutiya et al. (2002), o lodo gerado pela ampliação do tratamento somente nos esgotos coletados no Brasil, aumentaria potencialmente a produção em aproximadamente 8,5 milhões de metros cúbicos de lodo, por ano. De acordo com o mesmo autor, a região metropolitana de São Paulo produziu cerca de 500 toneladas por dia de lodo de esgoto no ano de 2002, com estimativa de triplicar tal produção até o ano de 2005.

Com relação à utilização do lodo, Bettiol e Camargo (2000) relatam algumas formas para seu aproveitamento: reuso industrial (produção de agregado leve e cimento, fabricação de tijolos e cerâmica); conversão em óleo combustível; recuperação de solos, de áreas degradadas e de mineração; e pode ter como fim o uso agrícola (café e milho) e florestal através da aplicação direta com incorporação no solo, compostagem, fertilizante em solo sintético, entre outros. Estes autores dizem que a utilização para fins agrícola e florestal é uma das formas mais convenientes, pois, como o lodo é rico em matéria orgânica e em macro e micronutrientes para as plantas, é amplamente recomendado sua aplicação como condicionador de solo e ou fertilizante.

Para Barbosa et al. (2006), a reciclagem agrícola também é a forma de disposição final do lodo de esgoto, considerada a mais adequada em termos técnicos, econômicos e ambientais, desde que convenientemente aplicada uma vez que apresenta o menor custo para a reciclagem de matéria orgânica e nutrientes e tem se constituído em uma das formas mais utilizadas em diversos países desenvolvidos (Bélgica, 29%; Dinamarca, 54%; França, 58%; Alemanha, 27%; Itália, 33%; Espanha, 50%; Reino Unido, 44%) como condicionador e fertilizante do solo, sendo que nos Estados Unidos o uso do lodo como fertilizante data de 1927. A partir da década de setenta, principalmente nos EUA, pesquisas com lodo de esgoto foram intensificadas e foram investigados muitos aspectos do seu uso em florestas. No Brasil, a pesquisa sobre a utilização do lodo de esgoto na agricultura acontece desde o início da década de oitenta, mas trabalhos em silvicultura são recentes e escassos (GUEDES e POGGIANI, 2003).

Barbosa et al. (2006) dão enfoque maior no aspecto econômico da utilização do lodo, dizendo que o lodo deve ser visto como um complemento à adubação das culturas, podendo contribuir para a redução da utilização de fertilizantes químicos e conseqüentemente o custo da produção.

A disposição do lodo de esgoto, estabilizado e tratado, em solos tem se mostrado uma alternativa viável, por ser feita com baixo custo e sem provocar impactos negativos. Os impactos ambientais provocados podem ser positivos na medida em que o teor de matéria orgânica do solo é aumentado, melhorando sua resistência à erosão e diminuindo a necessidade de fertilizantes minerais, o que significa economia de energia e conservação dos recursos naturais (ANDREOLI et al., 1999).

Nos países de clima temperado, a existência de trabalhos voltados para os problemas relacionados à interação lodo de esgoto/solo, e o monitoramento contínuo efetuado após sua aplicação, permite dizer que os impactos provocados pelo seu uso são, de certa forma, bem conhecidos. O mesmo não ocorre nos países em desenvolvimento, geralmente localizados em regiões tropicais, onde os trabalhos sobre o tema são poucos e recentes, carecendo de um monitoramento que permita a determinação dos impactos com o tempo. Além disso, tecnicamente, não é recomendável aproveitar os conhecimentos obtidos em regiões de clima temperado, cujas características ambientais, técnicas, culturais e sócio-

econômicas são diferentes, principalmente com relação à característica físico-química dos lodos e às propriedades específicas dos solos (TSUTIYA et al., 2002).

A avaliação da aptidão dos solos para disposição de lodos de esgoto, segundo Andreoli, et al. (2001), deve seguir os seguintes parâmetros edáficos: profundidade, textura, erosão, lençol freático, drenagem e hidromorfismo e estrutura do solo.

### **4.3. Metais pesados**

Para Adriano (1986), Povinelli (1987) e Egreja Filho (1993), a definição de metais pesados é dada como um grupo de elementos que ocorrem em sistemas naturais em pequenas concentrações que apresentam densidade igual ou acima de  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Duffs (2002) relata cerca de vinte e cinco diferentes definições descritas na literatura para o termo. Algumas definições baseiam-se na densidade atômica, outras no peso ou número atômico, nas propriedades químicas e ainda na toxicidade do elemento.

Há outros sinônimos que se referem a esses elementos, como por exemplo: metais traço, elementos traço, micronutrientes, microelementos, elementos menores, elementos raros, entre outros (FARIA, et al. 2007). Para Sparks, (1995); Essington, (2004) o termo elemento traço tem sido usado para definir metais catiônicos presentes em baixa concentração ( $< 0,1 \text{ dag Kg}^{-1}$ ) em solos e plantas.

Melo et al. (1997) dizem que metal pesado é um termo genérico usado para classificar os elementos químicos tóxicos às plantas e animais. Este autor define metais pesados como um grupo de elementos situados entre o cobre e o chumbo com pesos atômicos entre 63,55 e 200,59 e com massa específica, também, superior a  $5 \text{ g cm}^{-3}$ . Relata ainda que tais elementos químicos são altamente reativos e bio-acumulativos, ou seja, o organismo não é capaz de eliminá-los. Por este motivo, muitos países têm introduzido controle na concentração de metais pesados no lodo de esgoto devido aos efeitos na cadeia alimentar humana (MORTVEDT, 1996). Nos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA) determina as quantidades máximas de metais pesados e, em função desses teores, podem ser calculadas doses e frequência de aplicação do material. No Brasil, as normas da EPA serviram como base para a elaboração dos critérios para o uso agrícola de lodo de esgoto no estado de São Paulo (ANDRADE, 1999), quando o Conselho Nacional do Meio Ambiente estabeleceu as novas normas para uso desse material em todo o país (CONAMA, 2006). Nos EUA, a

aplicação de lodo em áreas degradadas chega a atingir dosagens de até 495 Mg ha<sup>-1</sup> (ROCHA, 1998).

#### **4.4. Metais pesados no solo**

Apesar dos benefícios trazidos pela aplicação de lodo de esgoto no solo, Bettioli e Camargo (2000) advertem sobre os diversos poluentes existentes no lodo, como metais pesados e organismos patogênicos, atributos que devem ser verificados com cuidado.

De acordo com Ross (1994) e Silveira et al. (2003), a disponibilidade de metais pesados ou de metais traço no solo é afetada, entre outros motivos, pela interação de vários fatores como pH, matéria orgânica, textura, minerais de argila, umidade, potencial de oxí-redução, interação com outros nutrientes e temperatura. Entretanto, Hue (1995) afirma que o movimento desses metais como resultado de aplicações de lodo de esgoto é limitado e somente observado em solos arenosos e ácidos, com baixo teor de matéria orgânica e que receberam elevadas aplicações do resíduo, associadas à elevada precipitação ou irrigação.

Bertoncini e Mattiazzo (1999) em estudo sobre lixiviação de metais pesados verificaram que maiores quantidades de Cu foram detectadas nos lixiviados obtidos do solo arenoso com menor conteúdo de óxidos e menor CTC. Nesse solo, também foram observadas maiores perdas de C orgânico pela lixiviação, refletindo a formação de complexos orgânicos solúveis de Cu.

A aplicação de lodo de esgoto no solo causa aumento no teor de matéria orgânica, com aumento na CTC. Para solos paulistas, em que há carência de matéria orgânica, possivelmente o valor agrônômico de maior importância do lodo de esgoto refere-se a este fato (CEOLATO et al., 2007).

Devido à importância que a matéria orgânica exerce sobre a CTC dos solos, a formação de complexos orgânicos com metais, mediante a quelação é também mecanismo de ligação em solos. Aos óxidos de Fe e Al, importantes constituintes de solos de região de clima tropical, têm sido atribuídos fortes interações com os metais, notadamente na forma de adsorção específica (MATTOS et al., 1996).

De acordo com Lake (1987), quando o teor de um determinado metal num resíduo é menor ou igual ao teor do mesmo metal no solo, pode-se inferir que o resíduo não apresenta potencial de contaminação. Entretanto, o autor ressalta que, quando se trata de

resíduos orgânicos, a mineralização da matéria orgânica, que poderá ocorrer após a disposição no solo, tenderá a aumentar os riscos de contaminação.

Dentre os metais pesados presentes no lodo de esgoto, o cádmio é uma importante fonte de contaminação (ROBARDS, 1991), dada sua longa persistência, devido ao tempo biológico de meia-vida no ambiente que influencia na sua bioacumulação (LARINI, 1993) e a sua fácil transferência do solo para as plantas, muitas vezes influenciado pela reação do solo (BAGATINI et al., 1998).

É importante ressaltar que o poder contaminante de um metal pesado pode ser caracterizado pelo potencial de caminamento no solo. Portanto, o movimento de metais pesados no solo tem sido objeto de pesquisas, especialmente dos mais tóxicos como Cd. Alguns autores indicam certa mobilidade do Cd no solo (SHEPPARD e THIBAUT, 1992), especialmente em solos ácidos (AMARAL SOBRINHO et al., 1998; BRADY e WEIL, 1996), enquanto outros autores o colocam como praticamente imóvel no perfil do solo (MALAVOLTA, 1994; LI e SHUMAN, 1996; BERTONCINI e MATTIAZZO, 1999). O lodo de esgoto contaminado pode transformar-se numa importante fonte de contaminação do solo por Cd, nociva para a agricultura (ALLOWAY, 1990; ROBARDS e WORSFOLD, 1991; KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992).

Estudos sobre a movimentação de metais em solos tratados com lodo de esgoto sugerem que a quantidade de metais lixiviados, embora seja menor que 1% do total adicionado, pode elevar-se em solos arenosos, com baixos teores de matéria orgânica e sujeitos a chuvas intensas. Esses metais podem permanecer adsorvidos ou complexados até que mudanças ocorram no sistema (SCHIRADO et al., 1986; LAMY et al., 1993; TAYLOR et al., 1995). O comportamento de metais também é influenciado pela interação com outros cátions presentes no solo. Pavan et al. (1984), em experimentos com solos tratados com  $\text{CaSO}_4$ , verificaram aumento no Ca trocável seguido de lixiviação de Mn e Al. Zhu e Alva (1993) observaram que, em solos neutros ou alcalinos, o transporte de Cu e Zn para camadas mais profundas do solo foi relativamente baixo, porém o uso de  $\text{K}_2\text{SO}_4$  aumentou o transporte daqueles metais, enquanto o uso de  $\text{CaSO}_4$  e  $\text{MgSO}_4$  minimizou o transporte de C orgânico dissolvido e, conseqüentemente, de metais complexados por ligantes orgânicos. A mobilidade de metais no solo pode ser acelerada em condições de campo pelo fluxo preferencial da

solução do solo no perfil, assim como pela formação de complexos facilmente transportáveis de metais e ligantes orgânicos (BERTONCINI e MATTIAZZO, 1999).

Mazur (1997) observou redução da fração trocável e aumento das frações extraídas com hidroxilamina (óxidos de Fe e óxido de Mn), e também que ao longo do tempo de incubação houve menor mobilidade/biodisponibilidade de Ni, Pb, Zn e Cu em solos incubados com lodo de esgoto durante 24 semanas.

#### **4.5. Metais pesados na planta**

Considerando a presença de nutrientes e metais pesados na composição do lodo de esgoto, ao mesmo tempo em que o seu emprego como fertilizante e/ou condicionador de solo pode trazer vantagens por promover a reciclagem de nutrientes e melhoria da fertilidade do solo, pode também trazer prejuízos se, por ventura, viabilizar aumento na absorção e acúmulo de metais pesados em plantas (SILVA et al., 1998).

Poucos são os estudos relacionados com a influência da presença de metais pesados sobre o índice de translocação de nutrientes em plantas herbáceas e em gramíneas, espécies amplamente estudadas em ambientes contaminados. Em espécies arbóreas, estes estudos praticamente inexistem, devendo-se empenhar esforços no sentido de conhecer as conseqüências da aplicação e da contaminação por metais pesados, não só em termos de sobrevivência das plantas, mas quanto aos seus efeitos sobre a translocação de nutrientes, fator essencial para o desenvolvimento das espécies vegetais (PAIVA et al., 2002).

Sabe-se que a maioria das espécies vegetais não tem capacidade para transportar metais de forma contínua e em teores capazes de ocasionar risco ambiental. Isto ocorre porque, como os demais seres vivos, as plantas também sofrem com os efeitos tóxicos destes elementos, fenecendo ou apresentando redução em seu desenvolvimento quando na presença de elevados teores. Por este motivo, muitas plantas consideradas como tolerantes conseguem sobreviver graças à restrição da absorção ou da mobilidade destes elementos para a parte aérea, ou seja, os metais tóxicos não chegam a participar do metabolismo vegetal (LARCHER, 2000).

A concentração dos elementos químicos nas plantas depende da interação de vários fatores, incluindo solo, espécie vegetal, estágio de maturação e clima (ANJOS, 2000). No entanto, o principal fator é o potencial de absorção, específico e

geneticamente fixado para os diferentes nutrientes e diferentes espécies vegetais (ANJOS, 2000). Além disso, o acúmulo de metais pesados é também muito variável de um determinado órgão para outro da planta (PORTO, 1986).

As plantas, quando submetidas à ambientes contaminados por metais pesados, apresentam uma série de distúrbios fisiológicos e nutricionais (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984; MARSCHNER, 1995; SOARES, 1999; PAIVA, 2000). Entre os distúrbios nutricionais tem-se a interferência desses metais sobre a absorção, a translocação e as funções dos nutrientes. Translocação refere-se ao movimento ou à transferência do íon do local de absorção na raiz para outro ponto qualquer, dentro ou fora da raiz (FAQUIN, 1994; MALAVOLTA et al., 1997). A presença de metais pesados, ao afetar o índice de translocação, pode provocar uma série de desarranjos fisiológicos nas plantas, pois se passa a ter deficiência ou excesso de determinados nutrientes na parte aérea, o que prejudica o desenvolvimento e o crescimento normal dessas plantas.

A concentração e o acúmulo de metais nos tecidos da planta dependem de sua disponibilidade na solução do solo, pois a concentração desses na raiz e na parte aérea aumenta com o aumento da sua concentração na solução do solo. As espécies tolerantes geralmente acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea (BAKER, 1987; VERKLEIJ e PRAST, 1989). Isso indica que as plantas que crescem nessas condições não conseguem evitar a absorção dos metais, mas limitam sua translocação. Em populações de *Silene* sp., por exemplo, Verkleij e Prast (1989) verificaram que a retenção de Cd na raiz forma a base de tolerância dessas ao excesso deste elemento.

Espécies ou variedades de uma mesma espécie vegetal, expostas a uma concentração similar de metais pesados, podem diferir na absorção e/ou distribuição interna desses na planta. Espécies lenhosas apresentam menor grau de tolerância a níveis tóxicos de metais pesados do que espécies herbáceas (SOARES et al., 2001).

Espécies tolerantes podem ser caracterizadas de acordo com a capacidade relativa em absorver, translocar e concentrar os metais na planta, pois as plantas são consideradas acumuladoras, indicadoras e excludoras, de acordo com as concentrações relativas dos metais na raiz e na parte aérea (BAKER, 1981). Casos há em que as plantas têm mais de 100 mg kg<sup>-1</sup> de Cd, 1.000 mg kg<sup>-1</sup> de Ni e Cu ou 10.000 mg kg<sup>-1</sup> de Zn na matéria

seca, quando crescem em solos ricos nestes metais, sendo chamadas de hiperacumuladoras (BROWN et al., 1995).

Os níveis tóxicos dos metais pesados para as plantas são ainda pouco conhecidos. Concentrações de alguns metais pesados consideradas tóxicas no tecido vegetal têm sido sugeridas (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984), porém esses valores são muito amplos, variáveis e totalmente desconhecidos para plantas não-cultivadas, como as arbóreas tropicais. Essas, pela capacidade de imobilizar maior quantidade de metais nos tecidos em relação às herbáceas, apresentam grande potencial para programas de revegetação de áreas contaminadas com metais pesados.

Cromer (1980) relata que a atividade florestal, por suas peculiaridades, apresenta-se como uma alternativa promissora, principalmente por não envolver produção de alimentos para consumo humano e nem riscos à saúde. Além disto, por ser realizada em larga escala tem a potencialidade de consumir um grande volume de efluentes, que é disponível a qualquer época do ano. No Brasil as pesquisas com lodo de esgoto ainda são poucas, mas já apresentam alguns resultados promissores, seja na fase de produção de mudas de espécies florestais (MORAIS et al., 1997) ou de implantação no reflorestamento (GONÇALVES et al., 2000b; POGGIANI et al., 2000).

#### **4.6. Efeito do lodo de esgoto nos atributos físicos do solo**

Estudos sobre o efeito do lodo nas características físicas do solo são imprescindíveis para a avaliação do impacto ambiental, principalmente considerando o efeito residual do lodo em longo prazo. Um dos principais efeitos da matéria orgânica sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação, que conseqüentemente, afeta a densidade, porosidade, aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (BARBOSA et al., 2002).

Dentre as variáveis que afetam a estrutura dos solos, a matéria orgânica pode ser o fator mais importante na formação e estabilidade dos agregados, em decorrência de sua estrutura complexa e longas cadeias de carbono, que agregam partículas minerais (TISDALL e OADES, 1982).

Para uma maior agregação do solo é necessária a presença de agentes cimentantes (FILIZOLA, 2006), e, de acordo com Melo e Marques (2000) a matéria orgânica

presente no lodo de esgoto melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade e aumenta a aeração. Os agregados do solo são formados pela união das partículas de areia, silte, argila e matéria orgânica (CASTRO FILHO et al., 2002).

Entretanto, Furrer e Stauffer (1983) afirmam que, dependendo da condição física original do solo, a adição do lodo de esgoto pode não ter efeito significativo na porosidade total. Kitamura et al. (2008) e Maria et al. (2007) afirmam que a porosidade do solo está intimamente relacionada com a densidade, ou seja, quanto menor a porosidade de um solo, maior será a sua densidade.

Jorge et al. (1991) e Melo et al. (2004), relatam que o uso do lodo de esgoto melhora as propriedades físicas e químicas do horizonte A e que em comparação com o adubo verde, em curto prazo, a adição de lodo de esgoto foi mais eficaz.

De acordo com Melo et al. (2004), que avaliaram o efeito da aplicação do lodo nos atributos físicos de Latossolo Vermelho distrófico (LVd), de textura média e Latossolo Vermelho eutroférico (LVef), de textura argilosa, o teor de matéria orgânica foi maior na camada 0-10 cm de profundidade, onde o lodo foi incorporado e não houve diferenças entre as camadas 10-20 e 20-30 cm, para os dois tipos de solo estudados.

Sort e Alcaniz (1999), em um ensaio de recuperação de área degradada, constataram que o principal efeito do lodo de esgoto foi o aumento da estabilidade de agregados ao impacto de gotas de chuva logo após a aplicação do lodo. Entretanto, após um ano esse efeito havia decrescido substancialmente. Assim como esses autores não obtiveram efeito duradouro da aplicação do lodo de esgoto, outros não observaram efeito do lodo na matéria orgânica e na agregação. Andrade et al. (2005), cinco anos após a aplicação de lodo de esgoto alcalino (com carbonatos) em superfície na entrelinha de eucalipto, não notaram diferença no estoque de carbono entre os tratamentos controle com doses de lodo variando de 10 a 40 Mg ha<sup>-1</sup>. Barbosa et al. (2004) não observaram diferença significativa na agregação do solo com aplicação de lodo de esgoto tratado com cal por dois anos em doses de 0 a 36 Mg ha<sup>-1</sup>. Nesse trabalho, observou-se ainda, repelência à água na superfície nas doses mais elevadas.

Com relação à resistência do solo à penetração, Barbosa (2006) verificou diminuição da resistência na dose de 12 Mg ha<sup>-1</sup> na profundidade de 0,10-0,20m. Os

autores relataram que essa diferença significativa encontrada na superfície pode ter sido em função da aplicação superficial do lodo, não influenciando as camadas mais profundas.

#### **4.7. Áreas degradadas x espécies arbóreas x lodo de esgoto e metal pesado**

A recuperação de solos pode ser obtida pela cobertura vegetal com espécies que tenham facilidade de restabelecimento, rápido desenvolvimento, agressividade suficiente para controlar invasoras e que melhorem as condições físicas e a fertilidade do solo. No entanto, todas as características desejáveis para uma planta recuperadora geralmente não se encontram em uma única espécie (LUCHESE et al., 1992) e também depende de outros fatores, como histórico do uso do solo, grau de isolamento das espécies e avaliação dos projetos de restauração, os quais permitirão a perpetuação das espécies (SORREANO, 2002).

A revegetação de solos muito arenosos estabiliza a área, protege o solo e garante o aporte de material orgânico ao solo, devido à forma de distribuição dos sistemas radiculares e à composição química do material orgânico incorporado ao solo (SIQUEIRA et al, 2008).

Os ecossistemas florestais são altamente propícios à aplicação do lodo (MARX et al., 1995), pois esse material possibilita o fornecimento mais equilibrado de nutrientes, reduz as perdas por erosão e lixiviação, além de ser capaz de imobilizar grandes quantidades de nutrientes e de metais pesados (ROSSELLI et al., 2003). A grande quantidade de raízes perenes profundas permite a absorção desses elementos durante todo o ano, em regiões tropicais (GONÇALVES e LUDUVICE, 2000).

O lodo de esgoto pode ser utilizado em culturas para produção de fibras, óleos e café e em sistemas silviculturais, respeitando a forma de aplicação mecanizada em sulcos ou covas, seguido de incorporação ou não, de acordo com a declividade do local onde será aplicado, sendo que não pode ultrapassar 15% no caso de aplicação superficial com incorporação (CONAMA, 2006).

Ao mesmo tempo em que a contaminação com metais pesados afeta o crescimento, a distribuição e o ciclo biológico das espécies vegetais (BARCELÓ e POSCHENRIEDER, 1992), a vegetação é uma alternativa para a recuperação de solos degradados pelo excesso desses elementos (SALT et al., 1995), devendo as espécies vegetais ser avaliadas quanto a sua capacidade de tolerância a esse tipo de estresse. Apesar de os

mecanismos de tolerância a metais pesados serem pouco conhecidos, sabe-se que as espécies tolerantes não diferem morfológicamente das não-tolerantes ou sensíveis aos metais, mas diferem bioquímica e fisiologicamente. Segundo Baker (1987), a sobrevivência das espécies que crescem em solos contaminados é relacionada à capacidade destas de tolerar, e não de anular, a toxicidade do metal.

#### **4.8. Crescimento de espécies arbóreas**

De acordo com Barbosa (2003), os modelos atuais de reflorestamentos baseiam-se na dinâmica de uma floresta tropical, isto é, o processo pelo qual as espécies se regeneram e se desenvolvem após a queda natural de árvores com formação de clareiras que, seqüencialmente, vão sendo ocupadas por novos indivíduos de diferentes espécies. A variação das clareiras no espaço e no tempo acaba por formar um mosaico de diferentes estágios sucessionais. A luz tem sido considerada o fator com maior influência na colonização destas clareiras. A resposta é adotada como o principal critério na classificação ecológica a que pertencem (pioneiras, secundárias e climácicas).

Segundo o mesmo autor, algumas espécies são tolerantes à sombra e têm crescimento inibido quando a luminosidade é intensa. Outras se adaptam à plena luz e um terceiro grupo somente exige luz em um determinado estágio do seu ciclo de vida. As situações diversas dos microclimas criados em função das diferentes formas e tamanhos das clareiras possibilitam o estabelecimento de grupos de espécies com características distintas. Desta forma, tem-se recomendado que a dinâmica de uma floresta natural seja o “modelo básico” a ser seguido na revegetação ou nos reflorestamentos induzidos, orientando a forma de associação das espécies em plantios heterogêneos.

Potomatti e Barbosa (2003) ressaltam que o processo de sucessão secundária na floresta tropical deve orientar sobre as espécies a serem utilizadas no sentido de que as espécies pioneiras, que são heliófilas, de rápido crescimento e de ciclo de vida curto, sombreiem e dêem condições para as não-pioneiras (secundárias tardias e climácicas), que permanecerão definitivamente nas florestas, promovendo alta diversidade e estabilidade.

O reflorestamento com várias espécies de diferentes classes ecológicas pode elevar as taxas de absorção e ciclagem de nutrientes e, conseqüentemente, a

eficiência de aproveitamento dos nutrientes, ou seja, o povoamento tem maior capacidade de reciclar os nutrientes e evitar suas perdas por lixiviação (GONÇALVES et al., 2003).

Vários modelos vêm sendo utilizados na recomposição da vegetação ciliar, destacando-se o uso dos conceitos de sucessão secundária. O sistema de plantios mistos compostos de espécies arbóreas de diferentes estádios da sucessão (espécies pioneiras, clímax exigentes de luz e clímax tolerantes à sombra) é defendido por vários autores (BOTELHO et al., 1995; CARPANEZZI et al., 1990; DURINGAN e NOGUEIRA, 1990; KAGEYAMA e CASTRO, 1989; SALVADOR e OLIVEIRA, 1989) por assemelhar-se à floresta natural composta de um mosaico de estádios sucessionais.

#### **4.9. Características das espécies estudadas**

##### **4.9.1. Pioneiras**

Espécies pioneiras ou intolerantes a sombra são aquelas que necessitam de clareiras naturais como sítio de regeneração (HARTSHORN, 1978), cujas sementes germinam em clareiras, nas quais a radiação solar atinge o chão da floresta por pelo menos parte do dia (MILTHORPE, 1961; GRUBB, 1976; MILES, 1976; VAZQUEZ-YANES e SMITH, 1982; VAZQUEZ-YANES e OROZCO-SECOVIA, 1994), ou seja, a importante característica das espécies pioneiras é a exigência de alta radiação para seu estabelecimento e crescimento (SCARPA, 2002). Também para Whitmore (1990 e 1996), árvores e arbustos pioneiros necessitam de altas intensidades luminosas e de temperaturas elevadas para a germinação de suas sementes, estabelecimento das plântulas e crescimento.

##### **4.9.1.1. Capixingui (*Croton floribundus* Spreng)**

O capixinguí é uma espécie pioneira, considerada como invasora de pastagens, que resiste bem às alterações ambientais e deve ser utilizada na colonização de áreas degradadas. Por seu rápido desenvolvimento, fornece proteção ao solo e condições microclimáticas necessárias ao estabelecimento de espécies de estágios sucessionais posteriores (CARVALHO, 2003). Pertencente a família Euphorbiaceae (LORENZI e SOUZA, 2008), ocorre naturalmente nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo (CAVASSAN, 1984). Segundo Gonçalves et al. (2000 b), esta espécie apresenta alta taxa de

crescimento, alta demanda de nutrientes, alta capacidade de absorção e alta taxa de acúmulo de nutrientes em tecidos vegetais.

#### **4.9.1.2. Aroeira-pimenteira (*Schinus terebinthifolius Raddi*)**

A aroeira-pimenteira, pertencente à família Anacardiaceae (LORENZI e SOUZA, 2008), é uma espécie pioneira, nativa do Brasil. Embora seja uma espécie pouco cultivada, a aroeira-pimenteira possui um grande potencial para exploração econômica e ecológica. Com uma alta mobilidade ecológica pode ocupar diversos ambientes e formações vegetais favorecendo e aumentando as chances de cultivo, que desponta como uma alternativa para a diversificação agrícola do país, podendo ser também utilizada em reflorestamentos, já que é uma espécie de rápido crescimento (CARVALHO, 2003).

#### **4.9.2. Secundárias**

Para Hartshorn (1978) existiam dois tipos de espécies secundárias: secundárias iniciais que se desenvolviam sobre sombreamento parcial, necessitando, apenas, de clareiras pequenas para seu desenvolvimento e secundárias tardias que se desenvolviam sob sombreamento completo, e que, portanto só cresceriam no sub-bosque da floresta. Clark, (1994) mostrou ser essa classificação muito simplista, já que outros fatores, como fertilidade do solo e umidade podem, também, determinar o sucesso das colonizações. Alguns autores (DENSLOW, 1996; SCHNITZER e CARSON, 2001) demonstraram que espécies tolerantes à sombra geralmente crescem bem em todas as condições de luminosidade. Então, Kageyama e Gandara (2001) classificam as espécies em pioneira e não pioneira.

#### **4.9.2.1. Canafístula (*Peltophorum dubium (Spreng)taub.*)**

Pertencente à família Fabaceae-Caesalpinoideae (LORENZI e SOUZA, 2008), atinge altura variando de 15 a 25 metros e diâmetro de 50 a 70 cm, é uma planta característica de latifoliada semidecídua da bacia do Paraná. Ocorre preferencialmente em solos argilosos úmidos e profundos de beira de rio, tanto em floresta primária densa como em formações secundárias. Floresce abundantemente de dezembro a fevereiro. A maturação dos frutos ocorre de março a abril (LORENZI, 2002).

#### **4.9.2.2. Cedro rosa (*Cedrella fissilis Vell*)**

O cedro rosa pertencente à família Meliaceae (LORENZI e SOUZA, 2008), é uma árvore de grande porte (30-35m), de crescimento rápido tanto por semente como por estaca, com belíssima folhagem, distinta das demais a distância (LOUREIRO et al., 1979). É uma espécie rara, que ocorre em diversas formações florestais brasileiras e praticamente em toda América tropical. Produz uma das madeiras mais apreciadas no comércio, tanto brasileiro quanto internacional, por ter coloração semelhante ao mogno e, entre as madeiras leves, é uma das que possibilita o uso mais diversificado, sendo superada apenas pela madeira do pinheiro-do-paraná (CARVALHO, 1994).

Esta espécie se comporta como secundária inicial ou secundária tardia. Ocorre tanto na floresta primária, como na floresta secundária, porém nunca em formações puras, possivelmente pelos ataques severos da broca-do-cedro e pela necessidade de luz para desenvolver-se, dependendo, portanto, da formação de clareiras. Normalmente ocorre em solos profundos e úmidos, de textura argilosa a areno-argilosa. Não se desenvolve adequadamente em solos mal drenados, rasos ou com lençol freático superficial. Apresenta crescimento pouco afetado em solos contaminados por metais pesados (MARQUES et al., 2000).

#### **4.9.2.3. Mutamba (*Guazuma ulmifolia Lam.*)**

Pertencente a família Malvaceae (LORENZI e SOUZA, 2008), esta espécie atinge alturas variando de 8 a 16 metros, com tronco de 30 a 50 cm de diâmetro. Apresenta folhas simples e ocorre em quase todo país, desde Amazônia até o Paraná. É uma planta semidecídua, heliófita, característica das formações secundárias da floresta latifoliada da bacia do Paraná. Floresce do final de setembro até começo de novembro, sendo que a maturação dos frutos ocorre em agosto – setembro, entretanto permanece na árvore por mais um tempo. (LORENZI, 2002).

#### **4.9.2.4. Angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa (Benth) Brenan.*)**

Pertencente à família Fabaceae-Mimosoideae (LORENZI e SOUZA, 2008), trata-se, segundo Lorenzi (2002), de uma espécie característica das capoeiras e florestas secundárias situadas em terrenos arenosos e cascalhentos. Comum também no interior da mata

primária densa, tanto em solos argilosos e férteis como em afloramentos basálticos. É bastante freqüente nos “cerradões” e matas de galerias do Brasil Central. Sua altura pode variar de 13 a 20 m, com tronco variando de 40 a 60 cm de diâmetro. Floresce em setembro - novembro, sendo que seus frutos amadurem em agosto – setembro.

### 4.9.3. Climáticas

As espécies climáticas ou não pioneiras são aquelas cujas sementes podem germinar na sombra do dossel e produzir plântulas tolerantes ao sombreamento, capazes de sobreviver por longo tempo no interior da mata (SCARPA, 2002).

#### 4.9.3.1. Copaíba (*Copaifera langsdorffii* Desf.)

A copaíba é uma dicotiledônea da família Fabaceae-Caesalpinioideae (LORENZI e SOUZA, 2008), que apresenta inúmeros nomes vulgares como copaíba, óleo-de-copaíba, copaíba-vermelha, oleiro, copaíbada- várzea, copaúba, pau-de-óleo, copaibeira-de-minas, óleo-vermelho e cupiúva. (CRESTANA e KAGEYAMA, 1989, PARON et al., 1996). É uma espécie arbórea, nativa do bioma cerrado, de grande interesse econômico e com potencial para utilização em projetos de recuperação de áreas degradadas (ANDRADE, 2008). É encontrada facilmente nas Regiões Amazônica e Centro-oeste do Brasil (VEIGA JUNIOR e PINTO, 2002).

Segundo Felfili (1993), a copaíba possui grandes árvores emergentes, cuja classificação ecológica parece ser de espécie não pioneira, exigente em luz, concordando com Davide (1994), que sugeriu ser esta espécie clímax, exigente em luz, mostrando alto índice de recrutamento, sendo encontrado indivíduos jovens sob a planta-mãe.

Toledo Filho (1988), ao estudar a competição entre nove espécies de cerrado durante oito anos, observou que a copaíba estava entre as espécies de desenvolvimento inferior, sendo considerada de aplicação limitada e que as mudas desta espécie apresentam crescimento variável no campo, atingindo cerca de 4 m em oito anos. Gurgel Filho et al. (1982) relatam que a espécie apresentou desenvolvimento regular em plantio heterogêneo, com 9 m de altura, 8,8 cm de diâmetro a altura do peito (DAP) e 90 % de sobrevivência aos 14 anos de plantio. Já Nogueira et al. (1977) dizem que aos 15 anos a espécie apresentou 12m de

altura e DAP de 14,7cm. Segundo Gurgel Filho et al. (1982b) plantios puros, aos 25 anos, apresentavam cerca de 12m de altura e 11 cm de DAP.

Esta espécie pode ser usada como bioindicadora da contaminação ambiental (FARIA et al., 2007). Para Martos et al. (1997) indicadores ambientais podem ser definidos como todo parâmetro quantitativo ou qualitativo capaz de evidenciar modificações no meio como a existência ou não de metais nas folhas das plantas.

As vantagens do uso de espécies bioindicadoras para análises do ambiente estão, entre outras, no baixo custo, na reação dos vegetais frente à presença da mistura dos vários poluentes ao mesmo tempo e associados a características ambientais. As informações adquiridas através do monitoramento podem ser empregadas ainda na identificação de poluentes de origem local ou regional e na avaliação de efeitos com alcance local, regional ou global (LIMA, 2001).

#### **4.9.3.2. Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.)**

Pertencente à família Fabaceae-Caesalpinioideae (LORENZI e SOUZA, 2008), o jatobá pode alcançar 40 m de altura e 2 m de diâmetro com fuste cilíndrico, normalmente reto. O jatobá floresce durante a estação seca, entre março e maio e frutifica depois de 3 a 4 meses, entre agosto a outubro. Pertence ao grupo sucessional secundária tardia a clímax exigente à luz, sendo característico de interior de floresta primária. É característico de Floresta Estacional Semidecidual e Decidual, Floresta Ombrófila Desa (Floresta Atlântica) e nos encaves vegetacionais nas serras da região Nordeste. É uma espécie rara (menos de 1 árvore por ha) com distribuição irregular. A abundância de jatobá está diminuindo por causa da extração de madeira. (LORENZI, 2000)

Naturalmente, ocorre em área com estação seca inexistente até 6 meses e temperatura média entre 20 e 30°C. Se desenvolve melhor em solos profundos, arenosos, bem drenados, podendo ser encontrado também em solos argilosos, com pH de ácido a neutro. O crescimento do jatobá, em plantios homogêneos, pode ser considerado como lento a moderado, considerado semi-heliófila, tolerando sombra apenas na fase juvenil. (CARVALHO, 2003). Sugerido no paisagismo e no reflorestamento para recuperação ambiental, por ser um atrativo para a fauna silvestre e ser uma espécie potencial para fitorremediação em solos contaminados por metais pesados.

#### **4.9.3.3. Jequitibá-branco (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze)**

No Brasil, o jequitibá (*Cariniana spp.*) é uma das espécies consideradas mais longevas, e as grandes árvores remanescentes desse gênero pertencem a um grupo de vegetais em via de extinção. Nativas da área de domínio da Mata Atlântica, essas árvores são encontradas apenas na região Sudeste do país e em alguns estados vizinhos (BOTOSSO, 2002).

Pertencente à família Lecythidaceae (LORENZI e SOUZA, 2008), atinge alturas variando de 35 a 45 m e diâmetro de tronco de 90 a 120 cm, sua ocorrência vai do sul da Bahia até o Rio Grande do Sul nas florestas pluvial atlântica e subtropical. É planta indispensável nos reflorestamentos heterogêneos. Caracterizada como planta semidecídua no inverno, heliófita ou de luz difusa, característica de floresta clímax, prefere solos úmidos e profundos. É rara no cerrado ou terrenos secos. Floresce durante os meses de outubro – dezembro e os frutos amadurecem em julho-setembro com a planta totalmente despida da folhagem (LORENZI, 2002).

## **5. MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1. Localização da área experimental**

O experimento foi realizado em uma área experimental situado na fazenda Entre-Rios da Companhia Suzano Bahia Sul de Papel e Celulose, na região de Itatinga-SP. As coordenadas geográficas da área são aproximadamente: 23° 18' de latitude Sul e 48° 30' de longitude Oeste de Greenwich e altitude média de 636 m.

A área caracteriza-se por ser plana, com solo degradado pela perda de sua camada superficial, com alto nível de compactação por ter sido usada como depósito de madeira pela empresa. O solo da área experimental é classificado como Neossolo Quartzarênico, conforme nomenclatura do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006). A análise com a caracterização química e física do solo realizada antes da implantação do experimento está na Tabela 1.

### **5.2. Delineamento experimental e descrição dos tratamentos**

O experimento foi instalado em blocos ao acaso com 4 repetições, em esquema de parcelas subdivididas, contento 8 tratamentos (parcelas) e 9 espécies (subparcelas), num total de 32 parcelas e 288 subparcelas. Cada parcela constitui-se de 81 plantas (9 linhas com 9 plantas em cada linha), espaçadas com 3,0 m entre linhas e 2,0 m entre plantas, totalizando uma área de 384 m<sup>2</sup> em cada parcela, perfazendo um total de 1,23 ha. A área útil de cada parcela é constituída pelas 49 plantas centrais, sendo que as outras 32

correspondem à bordadura simples de cada parcela. Todas as parcelas apresentaram a mesma distribuição e quantidade de mudas, sendo 8 mudas de cada espécie pioneira, 6 de cada secundária e 3 mudas de cada climática.

Os tratamentos utilizados no experimento são:

T1 - Testemunha absoluta: sem lodo de esgoto e sem adubo mineral;

T2 - Adubação mineral: conforme cálculo da necessidade para N, P e K;

T3 - Suplementação com K;

T4 - 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K;

T5 - 5,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K;

T6 - 10,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K;

T7 - 15,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K;

T8 - 20,0 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto (base seca) + suplementação com K.

**Tabela 1.** Análise química e física do solo antes da implantação do experimento.

Análise química						
P <sub>res</sub>	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
mg/dm <sup>3</sup>						
4,3	12,6	4,6	27,6	0,6	0,1	
Análise física						
Areia Grossa	Areia Fina	Areia Total	Argila	Silte	Arg. Nat.	Text. Solo
g/kg						
54	846	900	92	8	-----	Arenosa

**Fonte:** Laboratório de fertilidade e física de solo FCA/UNESP – Campus de Botucatu-SP

O tratamento com adubação mineral (T2), utilizado pela empresa, foi: 260 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 6-30-10 + 0,3% B no plantio, em área total, totalizando 156 g da fórmula por cova, ou seja, 9,36 g de N, 20,43 g de P e 12,94 g de K. Foi adicionado 1,0 kg ha<sup>-1</sup> de zinco (3 g de Sulfato de Zinco por cova), conforme análise de solo e recomendação de Gonçalves et al. (1996). Os adubos químicos utilizados na fórmula foram: sulfato de amônio, superfosfato simples, cloreto de potássio e ácido bórico.

O tratamento com Suplementação de potássio (T3) recebeu a mesma dose de K aplicada no tratamento 2 e nos tratamentos que receberam lodo, ou seja, 26 kg de  $K_2O\ ha^{-1}$  (26g de KCl por cova).

Baseado na análise de solo e nas recomendações de adubação e calagem para espécies nativas da Mata Atlântica sugeridas por Gonçalves et al. (1996), aplicou-se  $1,089\ Mg\ ha^{-1}$  de calcário dolomítico (PRNT = 90,95%) nos tratamentos T2 e T3.

O lodo de esgoto utilizado foi proveniente da estação de tratamento de esgoto da cidade de Jundiaí, que utiliza o processo de lagoas aeradas de mistura completa, seguida de lagoa de decantação para sua higienização. A composição química do lodo de esgoto utilizado está apresentada na Tabela 2. A Tabela 3 apresenta as quantidades totais de nutrientes e elementos tóxicos aplicados em cada tratamento.

**Tabela 2.** Composição química do lodo de esgoto (com base na matéria seca) utilizado no experimento e valores de concentração máxima permitida (CMP) pela legislação.

Parâmetro	Unidade <sup>(1)</sup>	Concentração	CMP <sup>(2)</sup>
Nitrogênio	$g\ kg^{-1}$	25,3	--
Fósforo	$g\ kg^{-1}$	16,6	--
Potássio	$g\ kg^{-1}$	1,9	--
Cálcio	$g\ kg^{-1}$	12,1	--
Magnésio	$g\ kg^{-1}$	2,3	--
Enxofre	$g\ kg^{-1}$	19,2	--
Mat. Org.	$g\ kg^{-1}$	440	--
C. orgânico	$g\ kg^{-1}$	200	--
Umidade	%	55	--
Relação C/N	--	7,9	--
pH	--	5,0	--
Sódio	$g\ kg^{-1}$	1,5	--
Cobre	$mg\ kg^{-1}$	850	1500
Ferro	$g\ kg^{-1}$	25,95	--
Manganês	$mg\ kg^{-1}$	584	--
Zinco	$mg\ kg^{-1}$	573	2800
Arsênio	$mg\ kg^{-1}$	0,1	41
Cádmio	$mg\ kg^{-1}$	8,24	39
Cromo	$mg\ kg^{-1}$	162,7	1000
Mercúrio	$mg\ kg^{-1}$	< 0,1	17
Níquel	$mg\ kg^{-1}$	37,8	420
Chumbo	$mg\ kg^{-1}$	196,4	300

<sup>(1)</sup> Os valores de concentração são dados com base na matéria seca; <sup>(2)</sup> CMP: Concentração Máxima Permitida (CONAMA, 2006).

**Tabela 3.** Quantidade total de nutrientes e elementos tóxicos aplicados no solo.

Elementos	Test.	Supl. K	Adubação Química	Doses de LE (Mg ha <sup>-1</sup> ) + K				
				2,5	5	10	15	20
----- kg ha <sup>-1</sup> -----								
Nitrogênio	-	-	15,6	63,25	126,5	253,0	379,5	506,0
Fósforo	-	-	34,05	41,5	83,0	166,0	249,0	332,0
Potássio	-	21,58	21,58	4,75	9,5	19,0	28,5	38,0
Cálcio	-	-	-	30,25	60,5	121,0	181,5	242,0
Magnésio	-	-	-	5,75	11,5	23,0	34,5	46,0
Enxofre	-	-	-	48,0	96,0	192,0	288,0	384,0
Boro	-	-	0,78	-	-	-	-	-
Sódio	-	-	-	3,75	7,5	15,0	22,5	30,0
Cobre	-	-	-	2,125	4,25	8,50	12,75	17,0
Ferro	-	-	-	64,875	129,7	259,5	389,25	519,0
Manganês	-	-	-	1,46	2,92	5,84	8,76	11,68
Zinco	-	-	1,0	1,4325	2,8650	5,73	8,595	11,46
Arsênio	-	-	-	0,00025	0,0005	0,001	0,0015	0,002
Cádmio	-	-	-	0,0206	0,0412	0,0824	1,236	1,648
Cromo	-	-	-	0,4068	0,8135	1,627	2,4405	3,254
Mercúrio	-	-	-	0,00025	0,0005	0,001	0,0015	0,002
Níquel	-	-	-	0,0945	0,189	0,378	0,567	0,756
Chumbo	-	-	-	0,491	0,982	1,964	2,946	3,928

### 5.3. Escolha das espécies

As espécies (Tabela 4) foram selecionadas em função de suas características ecológicas e silviculturais dentre as de ocorrência mais frequente na região da Mata Atlântica, conforme estudos prévios citados por Martins e Guerrini (2001) e Silva e Guerrini (2001). Elas foram classificadas em grupos ecológicos e escolhidas com base na sobrevivência e adaptação das mesmas.

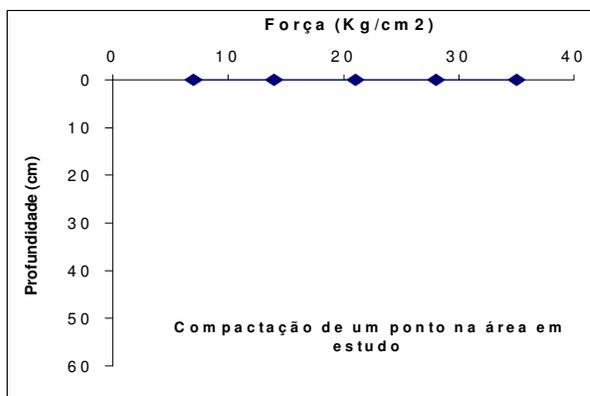
**Tabela 4.** Espécies utilizadas no experimento.

Nome científico	Nome comum	Família	Grupo ecológico
<i>Cytharexillum myrianthum</i>	Pau-viola	Verbenaceae	Pioneira
<i>Croton floribundus</i>	Capixingui	Euphorbiaceae	Pioneira
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira-pimenteira	Anacardiaceae	Pioneira
<i>Peltophorum dubium</i>	Canafístula	Fabaceae	Secundária
<i>Cedrella fissilis</i>	Cedro	Meliaceae	Secundária
<i>Guazuma ulmifolia</i>	Mutamba	Malvaceae	Secundária
<i>Anadenanthera macrocarpa</i>	Angico-vermelho	Fabaceae	Secundária
<i>Copaifera langsdorffii</i>	Copaíba	Fabaceae	Clímax
<i>Hymenaea courbaril</i>	Jatobá	Fabaceae	Clímax
<i>Cariniana estrellensis</i>	Jequitibá-branco	Lecythydaceae	Clímax

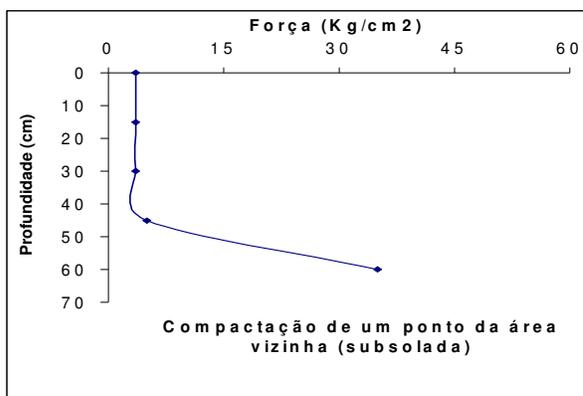
#### 5.4. Condução do experimento

Iniciou-se a instalação do experimento em março/2005, quando foi realizada a raspagem do terreno com uma patrola, para retirada da braquiária, e preparo do solo com subsolador de dupla haste até a profundidade de 40-50 cm.

Houve necessidade de se fazer uma subsolagem cruzada, definida em função de um levantamento do nível de compactação realizado após a raspagem da área (que era um antigo depósito de madeira) com o auxílio de um penetrógrafo, marca SoilControl, modelo SC-60. Os resultados obtidos na área experimental (Gráfico 1) indicaram que a haste do penetrógrafo não conseguiu penetrar no solo, independente da força aplicada, indicando alto nível de compactação. Essa área foi escolhida justamente pelo fato de ser degradada, devido à retirada da camada superficial do solo e ter sido compactada pelo depósito de madeira. Foi feita uma medida de compactação em uma área vizinha, descompactada, e os resultados mostraram que, na linha de plantio com eucalipto, apresentou compactação abaixo de 45 cm de profundidade (Gráfico 2), indicando o sucesso da subsolagem.



**Gráfico 1.** Profundidade alcançada pelo penetrógrafo na área de estudo.



**Gráfico 2.** Profundidade alcançada pelo penetrógrafo em uma área subsolada.

O plantio das árvores ocorreu no início de agosto/2005, sendo realizado um replantio após 15 dias e outro após 45 dias, realizando irrigações necessárias durante esse período. O lodo de esgoto foi distribuído mecanicamente com o uso de um trator, acoplado a uma carreta própria para esta finalidade.

Logo após o plantio foi realizada uma medição de altura e diâmetro de todas as plantas. Em função dos diferentes tamanhos das mudas das espécies, as mesmas poderão ser comparadas através dos incrementos no crescimento em função da idade.

A distribuição do calcário e dos adubos (NPK e KCl) foi feita manualmente e de forma homogênea nas parcelas. A incorporação desses insumos na linha de plantio foi feita com um equipamento especial, usado em plantios de cultivo mínimo e chamado pelos funcionários da Cia. Suzano de “rolinho”, constituído por duas hastes que rasgam o solo, removendo sua superfície, e um rolo que “assenta” a área remexida.

O controle químico das plantas daninhas foi feito com herbicida à base de glifosato e/ou de forma manual após a implantação do experimento até o momento em que o sombreamento diminuiu o estabelecimento e a competição com espécies invasoras. Também foi feito controle de formigas cortadeiras com iscas formicidas à base de sulfaramida em pré e pós-implantação.

### **5.5. Variáveis avaliadas**

a. Características físicas do solo: foram coletadas amostras para estudos de retenção de água (0,003 e 0,006 Mpa), estabilidade de agregados, macro e microporosidade e porosidade total, conforme metodologia descrita em Embrapa (1997), na profundidade de 0-20 cm.

b. Quantificação de metais pesados no solo: as amostras compostas, coletadas na profundidade de 0-20 cm, foram obtidas pela mistura de amostras simples coletadas em diversos pontos nas entrelinhas dentro de cada parcela experimental, com auxílio de um trado tipo “holandês”. As coletas foram realizadas aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto. A extração dos metais (As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni e Se) foi realizada através do Ataque Ácido ou “Ataque Total” das amostras, adicionando-se uma mistura de  $\text{HNO}_3$  e  $\text{HCl}$  (3:1) a 0,5 g de solo previamente moído e acondicionado em tubos de Teflon do microondas Ethos Plus microwave lab station (HPR 1000/105 high pressure rotor), e depois de 12 horas de descanso, a temperatura da mistura foi elevada a  $200^\circ\text{C}$  por 35 minutos (US EPA, 1989), sem a adição de HF devido ao não interesse em se abrir as partículas de quartzo do solo. Em seguida, abriram-se os tubos para retirada do gás e repetiu-se o procedimento. A quantificação dos elementos foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica.

c. Composição química foliar quanto à presença de metais pesados: foram coletadas folhas recém-maduras do terço superior das copas das plantas, evitando-se colher folhas muito novas ou em processo de senescência, aos 6, 12, 18 e 36 meses após o plantio. As folhas foram secas a 65 °C em estufas de ventilação forçada e moídas em moinho tipo Willey (peneira de 20 mesh). As análises químicas dos elementos As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, Se, Cd, Cr e Ni contidos no material vegetal foram realizadas por digestão nítrico-perclórica, de acordo com Malavolta et al. (1997) e a quantificação por espectrofotometria de absorção atômica.

d. Variáveis dendrométricas: foram medidos a altura e o diâmetro das plantas aos 6, 12, 18 e 36 meses após o plantio com régua graduada e paquímetro digital. Até os 18 meses, a análise desses parâmetros foi realizada subtraindo da medida atual, a medição inicial, realizada logo após o plantio.

## **5.6. Forma de Análise dos Resultados**

Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando o software SISVAR versão 4.2 (FERREIRA, 2003). As médias dos dados foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de confiança, quando o F apresentou valor significativo. Os resultados das doses de lodo foram submetidos à análise de regressão com escolha do modelo de melhor ajuste, quando significativo.

## **6. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **6.1. Crescimento**

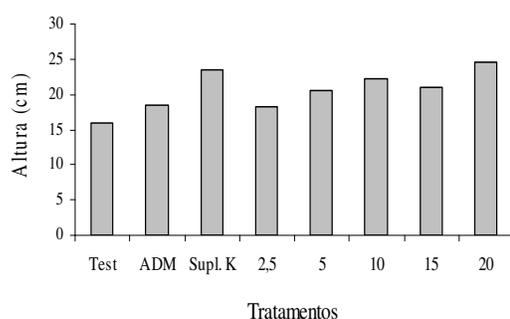
Os valores das medições de altura e diâmetro realizadas aos seis meses após o plantio estão apresentados nas Tabelas 5 e 6 e ilustrados nas Figuras 1A e 2A. Verifica-se que o tratamento com maior dose de lodo proporcionou a maior média para altura e diâmetro das plantas e a testemunha as menores médias.

O capixinguí, espécie de característica ecológica pioneira, foi a que apresentou maior crescimento, mostrando as maiores médias de altura e de diâmetro. De acordo com Gonçalves et al. (2000b), esta espécie apresenta alta taxa de crescimento e demanda de nutrientes, bem como alta capacidade de acúmulo destes nutrientes, sendo possível afirmar que o lodo de esgoto utilizado no experimento forneceu as quantidades necessárias de nutrientes para o crescimento desta espécie.

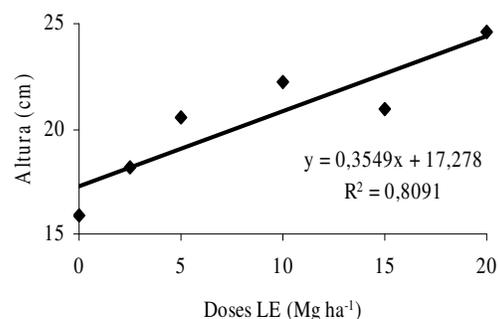
As espécies climácicas jequitibá, jatobá e copaíba apresentaram menores médias de altura e diâmetro e este fato pode ser atribuído as características ecológicas destas espécies que são de crescimento lento (climácicas) e, portanto, apresenta baixa exigência nutricional, baixa capacidade de absorção e, conseqüentemente, baixa resposta a fertilização, mesmo que os nutrientes estejam prontamente disponíveis (GONÇALVES et al., 2000a e 2000b). Porém, percebe-se maior crescimento destas espécies, com a utilização do lodo, em relação às plantas da testemunha.

Diante dos resultados da análise de regressão, pode-se dizer que houve efeito da adição do lodo de esgoto no crescimento médio das espécies estudadas, com crescimento linear das espécies ao aumento das doses de lodo aplicadas (Figuras 1B e 2B).

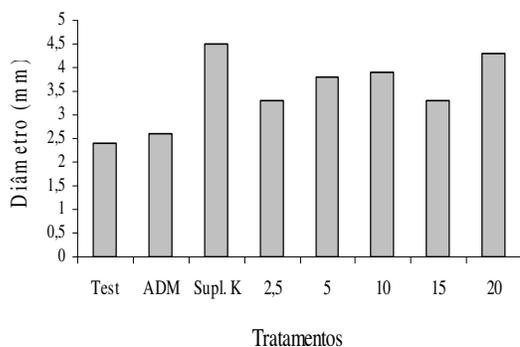
Aos seis meses de idade, os coeficientes de variação experimental (CV%) para altura e diâmetro são considerados altos, porém, esta alta variação pode ser explicada pelo fato da área em estudo ser extremamente degradada e, portanto, muito heterogênea, o que pode estar influenciando no desenvolvimento inicial das plantas. Outro fator extremamente importante é a grande variabilidade genética existente entre as plantas da mesma espécie, uma vez que ainda não existe melhoramento genético para nenhuma delas. Segundo Kageyama (1989), no Brasil, as plantações florestais de produção de pequena escala e as de proteção estão associadas a níveis mais baixos de tecnologia silvicultural. Além disso, os dois replantios realizados também afetaram a homogeneidade do plantio.



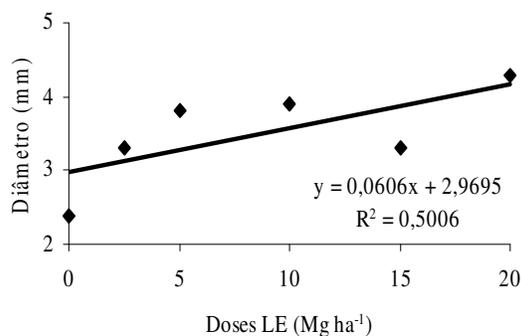
**Figura 1A.** Média da altura das espécies em função dos tratamentos, aos 6 meses.



**Figura 1B.** Média da altura das espécies em função das doses de lodo, aos 6 meses.



**Figura 2A.** Média do diâmetro das espécies em função dos tratamentos, aos 6 meses.



**Figura 2B.** Média do diâmetro das espécies em função das doses de lodo, aos 6 meses.

**Tabela 5.** Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 6 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 52,34%)	Espécies (CV = 24,58%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	16,5	26,1	25,8	29,4	12,8	4,5	3,4	18,6	6,1	15,9 b
ADM	18,7	30,2	22,3	37,0	11,8	5,5	5,4	27,6	6,9	18,4 ab
Supl. K	16,3	35,0	34,4	54,3	15,9	9,0	5,7	35,5	4,7	23,4 ab
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,7	26,0	24,0	43,4	14,3	7,2	6,0	19,5	6,7	18,2 ab
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	18,8	31,2	35,0	41,7	14,8	4,9	7,0	26,6	4,8	20,5 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,3	36,0	28,0	41,8	16,7	3,4	6,4	25,5	7,6	22,2 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	23,1	46,5	25,5	35,0	12,4	5,2	12,4	23,9	3,8	20,9 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	18,5	49,4	31,0	58,8	14,7	5,6	11,1	27,7	4,5	24,6 a
<b>Média</b>	<i>18,0 de</i>	<i>35,0 ab</i>	<i>28,2 bc</i>	<i>42,7 a</i>	<i>14,1 ef</i>	<i>5,7 f</i>	<i>7,2 f</i>	<i>25,62cd</i>	<i>8,2 f</i>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 6.** Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 6 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 55,37%)	Espécies (CV = 27,67%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	1,7	5,2	4,9	4,2	2,1	0,4	0,3	2,5	0,2	2,4 c
ADM	1,5	5,6	3,9	5,8	2,0	0,4	0,2	3,8	0,7	2,6 bc
Supl. K	2,7	7,4	7,2	10,3	4,3	0,7	0,4	6,3	0,9	4,5 a
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,5	6,6	5,4	7,5	3,3	1,1	0,4	3,0	1,2	3,3 abc
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,3	7,3	7,8	6,3	2,7	0,8	0,3	5,7	0,8	3,8 abc
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,1	7,5	5,9	7,1	4,3	0,5	0,2	3,8	1,9	3,9 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,6	9,2	4,5	6,0	1,9	1,4	0,7	3,0	1,3	3,3 abc
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,4	9,2	6,6	9,6	3,5	1,9	0,8	4,4	1,1	4,3 a
<b>Média</b>	<i>1,6 cd</i>	<i>7,3 a</i>	<i>5,8 a</i>	<i>7,1 a</i>	<i>3,0 bc</i>	<i>0,8 d</i>	<i>0,79 d</i>	<i>4,1 b</i>	<i>1,2 d</i>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os valores de altura e diâmetro obtidos 12 meses após a aplicação do lodo estão apresentados nas Tabelas 7 e 8. Foram observadas diferenças entre os tratamentos e entre as espécies utilizadas, porém, não existiu interação entre esses fatores.

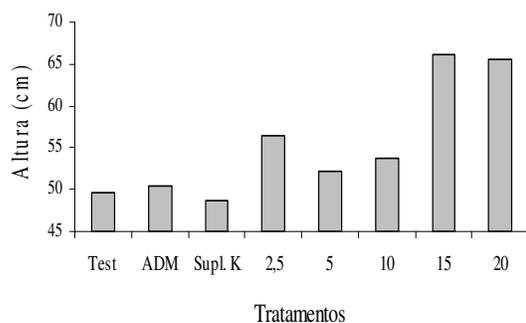
Os tratamentos com as maiores doses de lodo (15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>) proporcionaram maiores valores de altura, enquanto que na maior dose adicionada obteve-se maior diâmetro de plantas. Nos tratamentos testemunha e adubo mineral foram observadas as menores médias de altura. Para o diâmetro, a testemunha proporcionou a menor média das espécies. Provavelmente, o tratamento testemunha esteja proporcionando as menores médias de altura e diâmetro nas espécies devido à deficiência de matéria orgânica e nutrientes no solo (Figuras 3A e 4A), pois segundo alguns autores (IBÁÑEZ-GRANELL et al., 1993; MARX et al., 1995; NAVAS et al., 1999) a incorporação de matéria orgânica restabelece a estrutura do solo, melhora a circulação de ar e água e libera nutrientes essenciais ao crescimento da nova vegetação.

O capixinguí continuou sendo a espécie com maior crescimento em altura e, juntamente com a canafístula, foram as espécies que apresentaram maior crescimento em diâmetro. A canafístula, mesmo sendo uma espécie secundária, apresentou crescimento similar ao capixinguí que é uma espécie pioneira, mostrando ser uma espécie de fácil adaptação ao solo e clima da região. A canafístula é uma espécie pouco exigente em relação à fertilização química, e por isso apresentou rápido crescimento e fácil adaptação (CARVALHO, 1994).

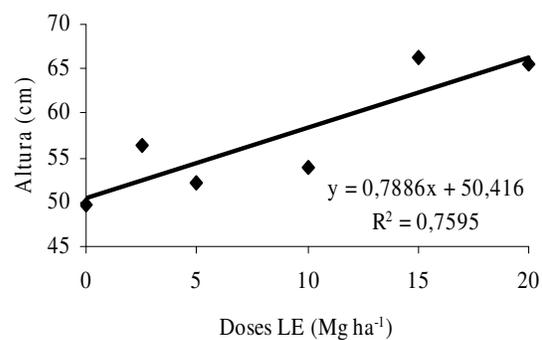
As espécies jequitibá, jatobá e copaíba tiveram os menores crescimentos, apresentando as menores médias de diâmetro. Isto já era esperado, uma vez que são espécies de crescimento lento.

Aos 12 meses após a aplicação de lodo de esgoto, verifica-se crescimento linear das espécies em altura e diâmetro, em função das doses de lodo aplicadas (Figuras 3B e 4B), similar ao ocorrido 6 meses após a aplicação dos tratamentos.

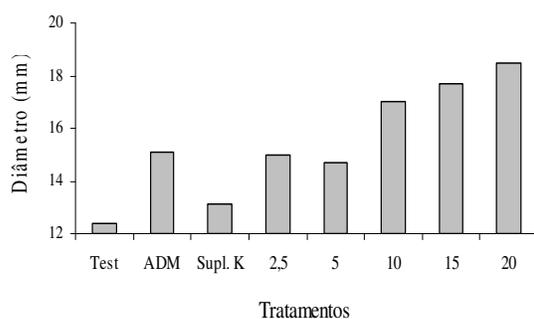
Verifica-se que os coeficientes de variação ainda continuam alto aos 12 meses após a implantação do experimento, apesar de terem diminuído na variável tratamento, em comparação ao coeficiente de variação obtido na análise de seis meses.



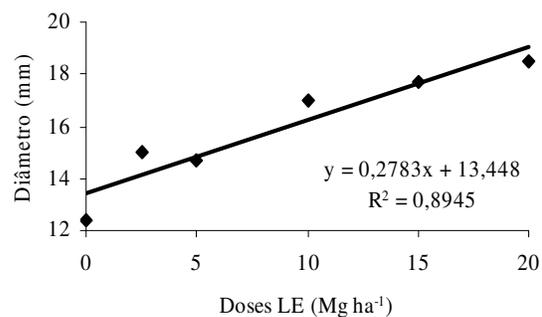
**Figura 3A.** Média da altura das espécies em função dos tratamentos, aos 12 meses.



**Figura 3B.** Média da altura das espécies em função das doses de lodo, aos 12 meses.



**Figura 4A.** Média do diâmetro das espécies em função dos tratamentos, aos 12 meses.



**Figura 4B.** Média do diâmetro das espécies em função das doses de lodo, aos 12 meses.

**Tabela 7.** Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 12 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 34,76%)	Espécies (CV = 31,55%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	54,3	58,0	75,0	133,3	43,7	12,6	15,9	45,7	8,2	49,7 b
ADM	53,1	79,6	80,4	116,9	19,9	10,7	15,1	61,7	16,3	50,4 b
Supl. K	38,3	73,4	86,7	115,5	26,9	12,3	15,9	55,0	12,9	48,6 b
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	46,7	73,5	94,9	143,3	42,9	17,6	16,8	53,9	19,5	56,5 ab
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	28,2	70,3	108,4	139,4	21,6	22,9	13,1	57,3	9,0	52,2 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	46,6	78,7	93,1	141,1	30,5	10,9	12,9	58,4	11,6	53,8 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	80,3	108,0	113,3	139,4	23,1	19,9	34,6	63,9	13,3	66,2 a
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	59,6	107,3	117,1	150,9	29,7	23,0	19,3	69,2	13,0	65,5 a
<b>Média</b>	50,9 c	81,1 b	96,0 b	135,0 a	29,8 d	16,3 de	18,0 de	58,1 c	13,0 e	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 8.** Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 12 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 50,9%)	Espécies (CV = 40,30%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	9,0	18,7	26,4	25,0	10,2	2,8	3,5	13,0	3,3	12,4 b
ADM	10,2	24,8	30,1	25,5	11,7	2,8	5,1	22,6	3,3	15,1 ab
Supl. K	5,6	23,8	28,3	22,9	13,7	2,3	3,6	15,1	2,1	13,1 ab
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	7,5	22,7	31,5	29,1	15,9	2,1	7,0	16,6	2,3	15,0 ab
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4,8	26,7	35,8	27,8	12,2	3,5	3,4	14,5	3,4	14,7 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,4	26,9	26,4	28,5	11,4	2,3	3,3	19,0	2,2	17,0 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	8,5	33,5	32,4	32,6	13,9	3,2	6,7	19,8	2,9	17,7 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,9	31,6	34,5	37,3	14,7	5,7	4,3	25,8	2,4	18,5 a
<b>Média</b>	88,1 cd	26,1 ab	30,7 a	28,6 a	13,0 c	3,1 d	4,6 d	21,2 b	3,5 d	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

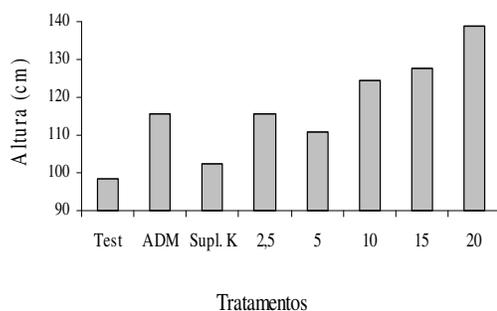
Aos 18 meses após a aplicação do lodo, observa-se que a maior dosagem de lodo utilizada fez com que as espécies atingissem maior altura e diâmetro, (Tabelas 9 e 10). As menores médias de altura e diâmetro ocorreram na testemunha e, para o diâmetro, este comportamento também pode ser notado no tratamento suplementação de K, e isto pode ser observado nas Figuras 5A e 6A.

Nesta época de avaliação as plantas de jequitibá estavam muito debilitadas, com pouquíssimas folhas e parte delas haviam morrido. Segundo (LORENZI, 2002) é normal esta espécie apresentar-se totalmente sem folhas no período de julho-setembro, período que antecedia em 1 mês a época das medições.

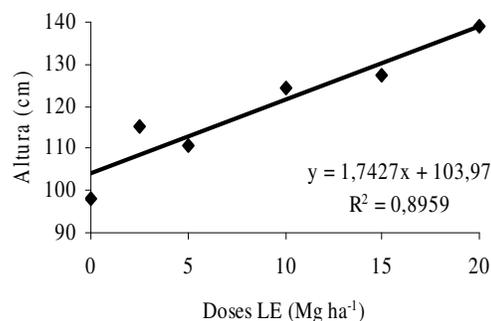
Em relação às espécies analisadas, a pioneira capixinguí continuou sendo à que apresentou maior altura, e quanto ao diâmetro, as espécies capixinguí e canafístula apresentaram as maiores médias.

Neste período, as espécies climácicas jequitibá, jatobá e copaíba apresentaram as menores médias de crescimento em comparação com as demais.

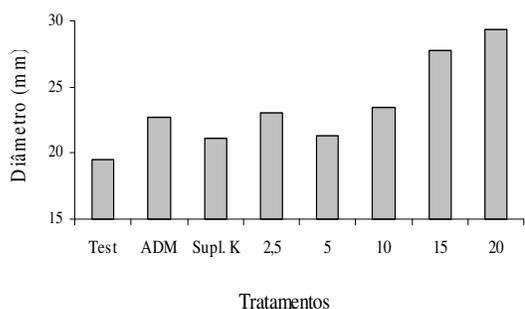
Observa-se nas Figuras 5B e 6B que aos 18 meses após a aplicação do lodo, há um aumento linear do crescimento das espécies em função do aumento das doses utilizadas.



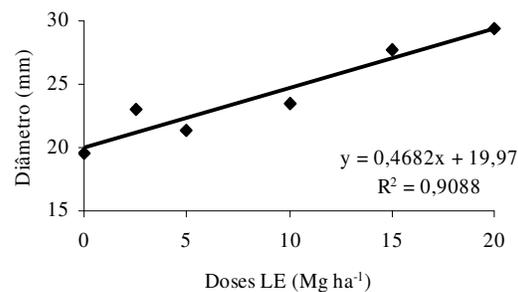
**Figura 5A.** Média da altura das espécies em função dos tratamentos, aos 18 meses.



**Figura 5B.** Média da altura das espécies em função das doses de lodo, aos 18 meses.



**Figura 6A.** Média do diâmetro das espécies em função dos tratamentos, aos 18 meses.



**Figura 6B.** Média do diâmetro das espécies em função das doses de lodo, aos 18 meses.

Ao longo de 3 análises consecutivas, aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação dos tratamentos, não houve interação entre os tratamentos e espécies utilizadas, porém, quando as análises foram feitas considerando apenas as doses de lodo, verifica-se efeito positivo, com crescimento linear das espécies quando se aplica lodo de esgoto. Observou-se também que, com o passar do tempo após a aplicação do lodo, existiu uma melhora no valor do coeficiente de ajuste ( $R^2$ ).

**Tabela 9.** Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 18 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 30,77%)	Espécies (CV = 25,30%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	144,9	106,2	191,1	216,6	38,4	31,9	50,2	88,4	14,4	98,2 c
ADM	145,9	169,1	199,8	218,6	50,1	25,7	35,0	159,4	26,8	115,6 abc
Supl. K	83,0	162,6	198,6	227,4	61,2	19,2	22,6	124,7	22,0	102,4 bc
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	122,7	135,7	240,2	239,7	70,3	21,7	37,2	145,5	26,9	115,5 abc
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	106,3	149,0	260,4	235,0	46,6	32,8	36,9	113,1	16,8	110,8 bc
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	133,8	166,4	225,7	265,4	54,4	41,4	27,4	170,4	36,2	124,5 abc
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	152,1	205,3	240,4	253,7	51,9	21,6	51,0	138,6	32,5	127,5 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	168,3	211,0	235,9	267,4	68,4	54,7	51,5	164,0	28,2	138,8 a
<b>Média</b>	<i>132,1 c</i>	<i>163,2 b</i>	<i>224,0 a</i>	<i>240,5 a</i>	<i>55,1 d</i>	<i>31,14 d</i>	<i>39,0 d</i>	<i>138,0 bc</i>	<i>27,0 d</i>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 10.** Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 18 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 36,64%)	Espécies (CV = 31,34%)									
	Angico	Aroeira	Canafistula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	Jequitibá	Média
Testemunha	20,4	27,0	39,4	43,3	11,8	7,1	50,2	17,2	3,4	19,5 c
ADM	18,4	35,9	42,9	41,1	13,4	4,5	35,0	32,0	5,2	22,7 bc
Supl. K	11,7	37,4	37,7	50,3	17,5	3,5	22,6	23,3	3,7	21,1 c
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,3	34,0	49,4	54,3	18,2	3,1	37,2	19,3	4,3	23,0 bc
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	13,1	29,4	55,1	45,4	13,1	5,5	36,9	21,6	3,8	21,3 c
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,1	37,9	48,5	52,9	13,0	4,7	27,4	30,3	3,4	23,5 abc
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	20,9	47,4	53,0	64,5	17,6	3,7	51,0	31,9	3,3	27,7 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	22,7	48,8	53,7	59,9	23,5	9,9	51,5	31,7	4,9	29,4 a
<b>Média</b>	<i>17,5 d</i>	<i>37,2 b</i>	<i>47,5 a</i>	<i>51,5 a</i>	<i>16,0 d</i>	<i>5,2 e</i>	<i>7,3 e</i>	<i>25,9 c</i>	<i>3,59 e</i>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Os resultados das medições de altura e diâmetro realizadas aos trinta e seis meses após o plantio estão apresentadas nas Tabelas 1 e 2. Para altura de plantas houve interação entre os tratamentos e as espécies utilizadas.

Para o desdobramento dos tratamentos dentro das espécies verifica-se que para o angico, os tratamentos que proporcionaram as menores médias foram quando aplicou-se somente o K e a menor dose de lodo de esgoto.

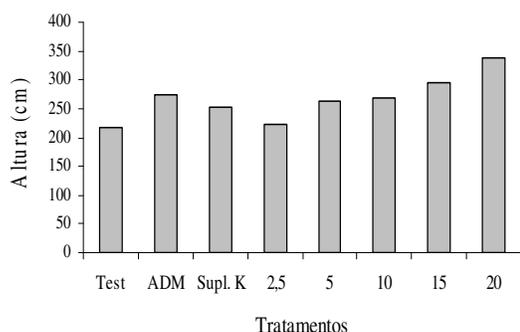
Para a canafístula as doses de 15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo proporcionaram maiores alturas de planta. As demais espécies, aroeira, capixinguí, cedro, copaíba, jatobá e mutamba, tiveram as maiores alturas na maior dose de lodo utilizada, 20 Mg ha<sup>-1</sup> e as menores, na testemunha.

Para as espécies em função dos tratamentos, verifica-se que no tratamento testemunha, o angico e o capixinguí apresentaram as maiores alturas de planta. A espécie capixinguí, que é pioneira, apresentou maior altura em todas as doses de lodo de esgoto aplicadas, no tratamento adubo mineral e também no tratamento só com K. Isso se deve principalmente à característica da espécie, que é de crescimento rápido, e conforme Gonçalves et al. (2000a), as espécies nativas dos estágios iniciais de sucessão apresentam taxas de crescimento superiores às de final de sucessão. O cedro, a copaíba e o jatobá apresentaram as menores alturas de planta em todos os tratamentos, sendo a copaíba e o jatobá as espécies que menos cresceram, principalmente quando tratadas somente com K.

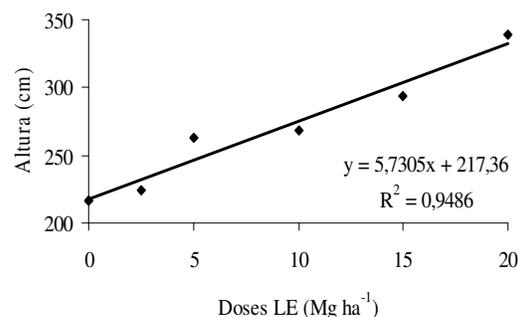
O tratamento só com K e a menor dose de lodo utilizada, juntamente com a testemunha, proporcionaram as menores médias de altura de plantas (Figura 7A), enquanto que, quando se observa somente as doses de lodo de esgoto, percebe-se aumento linear da altura com o aumento das doses testadas, como demonstra a Figura 7B.

Considerando apenas as doses de lodo de esgoto, verifica-se que para as espécies estudadas, houve aumento linear da altura quando aumenta-se as doses de lodo utilizadas (Figura 8).

O angico é a espécie menos influenciada pelo aumento das doses de lodo de esgoto, pois apresentou menor incremento de altura, obtido através da diferença entre a maior e a menor dose de lodo utilizada.



**Figura 7A.** Média da altura das espécies em função dos tratamentos, aos 36 meses.

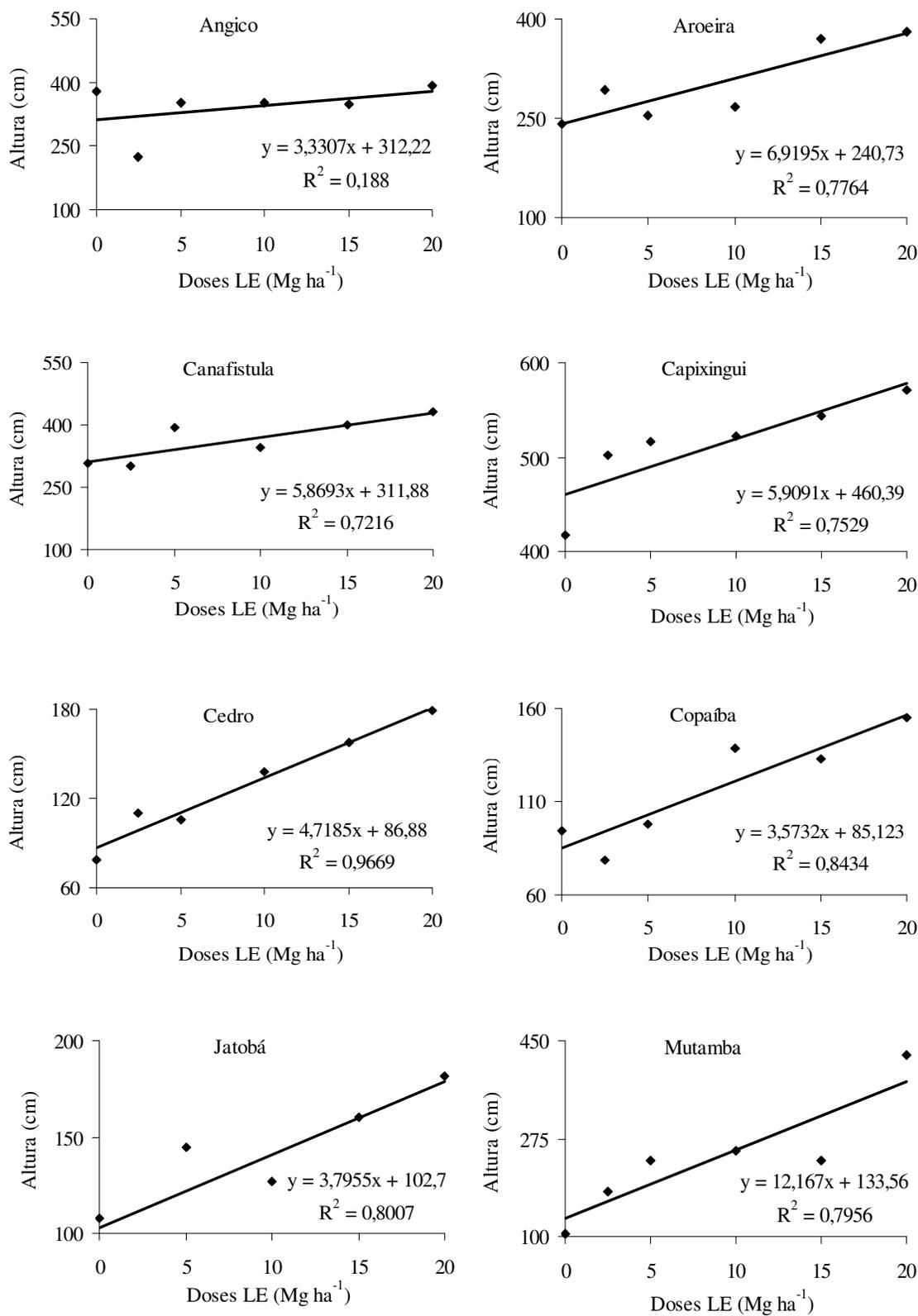


**Figura 7B.** Média da altura das espécies em função das doses de lodo, aos 36 meses.

A mutamba foi a espécie que mais cresceu com o uso do lodo de esgoto, mesmo quando comparada com outras espécies de mesma classe ecológica, como é o caso do angico e do cedro. Esta espécie, que aos 36 meses tinha uma altura de 100 cm na dose zero, apresentou na maior dose de lodo adicionada, uma altura de 400 cm, ou seja, um incremento de 300 cm em relação à dose zero e à maior dose testada. Este fato ocorre devido às características que cada espécie possui, mesmo fazendo parte da mesma classe ecológica, devido à grande variabilidade genética existente entre as plantas da mesma espécie e segundo Kageyama, (1989) as espécies arbóreas diferem quanto à eficiência com que utilizam os nutrientes extraídos do solo.

As espécies pioneiras, como eram de se esperar, devido as suas características ecológicas, obtiveram os maiores crescimentos em altura e diâmetro, não obtendo, no entanto, os maiores incrementos em relação aos aumentos nas doses de lodo aplicados.

Não foi possível quantificar o crescimento do jequitibá devido à pequena quantidade de plantas nas parcelas. Grande parte das plantas desta espécie morreram, sendo inviável analisá-las estatisticamente, já que o número de repetições dentro de cada parcela se tornou muito pequeno.

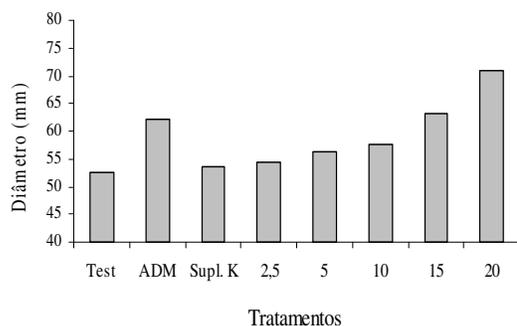


**Figura 8.** Altura de diferentes espécies arbóreas da mata atlântica em função de doses de lodo de esgoto (LE) aplicadas, aos 36 meses de idade.

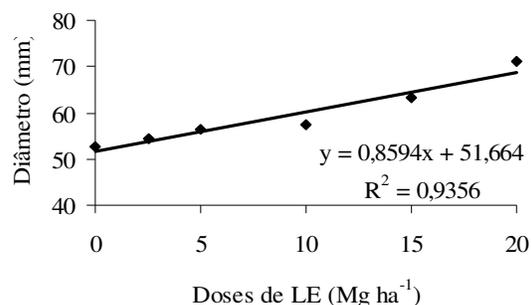
Para o diâmetro houve influência dos tratamentos e das espécies utilizadas, não ocorrendo, porém, interação entre os fatores. A média dos diâmetros de plantas pode ser observada na Tabela 12.

Para os tratamentos, verifica-se que a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionou os maiores diâmetros, não diferindo, porém, dos tratamentos que receberam 15 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e do adubo químico mineral. O uso do lodo gera economia de fertilizantes em diversas culturas (ALTAFIM, 2004; FAUSTINO, 2005), além dos benefícios ambientais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

Para as espécies, independente dos tratamentos, o capixinguí apresentou maior diâmetro quando comparado às demais espécies, repetindo o que ocorreu com a altura, já que esta espécie foi a que mais cresceu. E também de forma semelhante ao ocorrido na altura, observa-se na figura 9B, que independente das espécies utilizadas, houve aumento linear do diâmetro à medida que se aumentaram as doses de lodo de esgoto testadas.



**Figura 9A.** Média do diâmetro das espécies em função dos tratamentos, aos 36 meses.

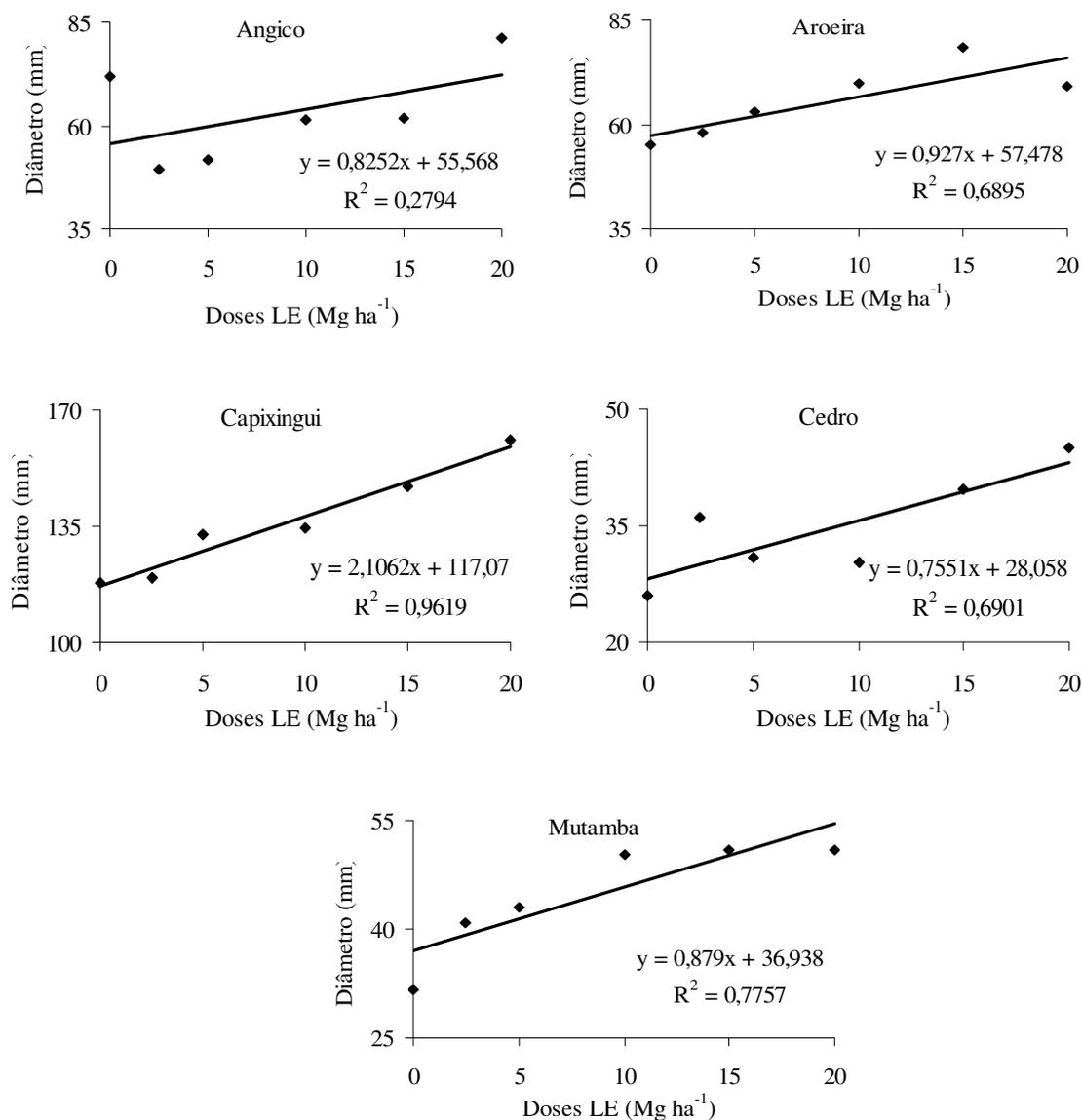


**Figura 9B.** Média do diâmetro das espécies em função das doses de lodo, aos 36 meses.

Em relação às espécies estudadas e às doses de lodo de esgoto testadas, verifica-se que para algumas dessas espécies (angico, aroeira, capixinguí, cedro e mutamba), houve aumento linear do diâmetro das plantas conforme o aumento das doses de lodo aplicadas (Figura 10).

De maneira geral, observou-se que todas as espécies responderam positivamente à aplicação do lodo de esgoto e que os tratamentos com maiores doses de lodo promoveram maiores respostas, superando, estatisticamente, o tratamento adubação mineral,

mostrando viabilidade em se substituir a adubação mineral pela aplicação de lodo de esgoto em plantios florestais, corroborando os resultados encontrados por Paiva et al., (2009), ao estudar o crescimento de espécies nativas em viveiro.



**Figura 10.** Diâmetro de diferentes espécies arbóreas da Mata Atlântica em função da aplicação de cinco doses de lodo de esgoto (LE).

**Tabela 11.** Médias das diferenças de altura (cm) entre as medições iniciais e com 36 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 18,94)	Espécies (CV = 17,68)								Média
	Angico	Aroeira	Canafístula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	
Testemunha	379 a A	240 e B	308 c AB	417 c A	79 d C	98 bc C	108 bcd C	106 f C	217 d
ADM	353 a B	305 cd B	338 c B	541 ab A	122 bcd C	74 c C	122 bcd C	337 b B	274 b
Supl. K	244 b BC	317 bc B	337 c B	510 b A	164 ab CD	73 c D	77 d D	298 bc B	253 bcd
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	226 b BCD	292 cde BC	301 c B	502 b A	110 cd DE	79 c E	95 cd E	182 e CDE	223 cd
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	351 a BC	255 de CD	393 ab B	516 b A	106 cd E	98 bc E	145 abc DE	237 d CD	263 bc
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	351 a B	267 cde B	345 bc B	523 ab A	138 abc CD	139 ab CD	127 bcd D	255 cd BC	268 b
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	350 a BC	371 ab B	400 a B	543 ab A	158 abc D	133 ab D	161 ab D	237 d CD	294 b
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	392 a B	382 a B	432 a B	571 a A	179 a C	155 a C	181 a C	424 a B	339 a
<b>Média</b>	<b>331 BC</b>	<b>304 C</b>	<b>357 B</b>	<b>516 A</b>	<b>132 E</b>	<b>106 E</b>	<b>127 E</b>	<b>260 D</b>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

**Tabela 12.** Médias das diferenças de diâmetro (mm) entre as medições iniciais e com 36 meses de idade em espécies da mata atlântica, em função da aplicação de adubo mineral e lodo de esgoto.

Tratamentos (CV = 22,34)	Espécies (CV = 21,42)								Média
	Angico	Aroeira	Canafístula	Capixinguí	Cedro	Copaíba	Jatobá	Mutamba	
Testemunha	71,7	55,1	72,5	117,8 ef A	25,9 c CD	18,9 ab D	26,7 CD	31,7 d CD	52,5 b
ADM	61,3	83,2	79,7	131,5 cde A	31,6 abc CD	15,8 b D	27,7 D	66,0 a B	62,1 ab
Supl. K	37,5	67,0	73,2	114,3 f A	40,2 ab CDE	12,2 b E	26,9 DE	57,7 ab BCD	53,6 b
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	49,4	57,9	85,1	119,5 def A	36,1 abc CD	13,7 b D	34,0 CD	40,8 cd CD	54,5 b
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	51,5	63,2	89,3	132,7 cd A	31,0 abc DE	17,4 b E	22,5 DE	43,1 cd CDE	56,3 b
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	61,4	69,8	71,0	134,7 bc A	30,2 bc CD	17,9 b D	24,8 CD	50,3 bc BC	57,5 b
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	61,7	78,4	80,7	147,2 ab A	39,7 abc CD	15,8 b D	32,1 CD	50,9 bc BC	63,3 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	81,1	69,2	97,3	161,1 a A	45,1 a DE	32,1 a E	31,2 E	51,0 bc CDE	71,0 a
<b>Média</b>	<b>59,4 CD</b>	<b>68,0 C</b>	<b>81,1 B</b>	<b>132,2 A</b>	<b>35,0 E</b>	<b>18,0 F</b>	<b>28,2 EF</b>	<b>48,9 D</b>	

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Médias seguidas da mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

## 6.2. Teores totais de metais pesados no solo

Observa-se que os valores dos metais pesados encontrados no lodo de esgoto (Tabela 2), estão abaixo dos limites estabelecidos pelas normas do Conama (2006) e da Cetesb (1999) que regulamentam a utilização do lodo de esgoto na agricultura no estado de São Paulo. Segundo Marques et al. (2006), mesmo que os teores de metais pesados encontrados no lodo estejam abaixo do limite, tornam-se pertinentes estudos de diferentes doses deste resíduo aplicadas no solo, pois é importante considerar que os metais presentes no lodo de esgoto, quando aplicados ao solo, contribuem para a reserva já existente naturalmente nesse meio (ANDREOLI et al., 2006). Também, outras fontes antropogênicas, incluindo emissões industriais, efluentes, fertilizantes, condicionadores de solo e pesticidas podem contribuir para o aumento da concentração desses elementos nos solos (SILVEIRA, 2002). Com base na maior dose de lodo de esgoto aplicada ao solo ( $20 \text{ Mg ha}^{-1}$ ), foi adicionado aproximadamente 0,002; 1,65; 3,25; 0,002; 0,76; e 3,93  $\text{kg ha}^{-1}$  de As, Cd, Cr, Hg, Ni e Pb, respectivamente.

Verifica-se na Tabela 13 que aos 6 meses após a aplicação do lodo houve diferença entre os tratamentos apenas para as quantidades de Cd e Hg no solo. O maior teor total de Cd ( $448,8 \mu\text{g kg}^{-1}$ ) foi encontrado quando aplicada a maior dose de LE, sendo que o maior teor de Hg ( $0,158 \text{ mg kg}^{-1}$ ) foi encontrado na dose de  $15 \text{ Mg ha}^{-1}$ . Os metais Cr, Pb e Ni apresentaram-se em teores abaixo do limite de determinação do método analítico empregado. No caso do As, os tratamentos que receberam adubação química proporcionaram quantidades semelhantes deste metal no solo quando comparados aos tratamentos que receberam lodo de esgoto. Essa quantidade de As no solo que não recebeu lodo pode ser atribuída à reserva natural já existente ou pela própria deposição atmosférica.

Com a maior dose de LE foi aplicado ao solo a quantidade de  $1,65 \text{ kg ha}^{-1}$  de Cd. Considerando-se uma densidade média do solo de  $1,3 \text{ kg dm}^{-3}$  e profundidade de solo de 0-20cm, verifica-se que o total aplicado corresponde a  $634 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Aos seis meses após a aplicação, o teor total de Cd no solo foi de  $448,8 \mu\text{g kg}^{-1}$ , sendo que essa diferença de  $168 \mu\text{g kg}^{-1}$  pode ter sido absorvida pela planta.

Aos 12 meses após a aplicação, observa-se a influência dos tratamentos apenas para o teor total de Cd no solo, onde o maior teor foi obtido no solo que recebeu lodo

de esgoto (Tabela 14). Aos 18 meses todos os elementos avaliados tiveram seus valores abaixo do limite de detecção do aparelho (Tabela 15).

**Tabela 13.** Teores totais de metais pesados no solo 6 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	4787,5	17,5 c	5,25	<25	0,067 b	5,0
ADM	5400,0	18,0 c	5,75	<25	0,083 ab	5,0
Supl. K	5915,5	20,7 c	5,0	<25	0,080 ab	5,0
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4063,3	63,8 c	6,0	<25	0,098 ab	5,0
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4016,0	201,0 bc	5,0	<25	0,140 ab	5,25
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4166,0	213,5 bc	5,0	<25	0,128 ab	5,25
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4120,3	293,3 ab	5,0	<25	0,158 a	5,0
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	3846,5	448,8 a	5,75	<25	0,153 ab	5,0
F	ns	**	ns	-	**	Ns
CV%	25,49	52,01	14,78	-	32,16	8,80

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 14.** Teores totais de metais pesados no solo 12 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g Kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg Kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	6262,5	16,0 b	5,00	<25	0,0525	5,00
ADM	7265,3	12,5 b	5,25	<25	0,0700	5,25
Supl. K	5830,7	16,7 b	5,25	<25	0,0850	5,00
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	5515,8	146,3 a	5,00	<25	0,0525	5,00
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	5972,3	136,5 a	5,00	<25	0,1025	5,00
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	6738,8	203,0 a	5,50	<25	0,0875	5,50
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	6671,0	211,3 a	5,25	<25	0,1000	5,00
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	6808,0	180,8 a	5,25	<25	0,0900	5,25
F	ns	*	ns	-	ns	Ns
CV%	35,75	88,42	8,28	-	42,5	6,02

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 15.** Teores totais de metais pesados no solo 18 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g Kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg Kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
ADM	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
Supl. K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	-	<0,01	<0,05	<25	<0,01	<0,05
F	-	-	-	-	-	-
CV%	-	-	-	-	-	-

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

### 6.3 Teores disponíveis de metais pesados no solo

Para o caso de teores disponíveis de metais no solo, verifica-se que houve influência dos tratamentos apenas para As e Cd aos seis meses após a aplicação do lodo (Tabela 16). Para os dois metais, os maiores teores disponíveis foram obtidos quando aplicadas as maiores doses de lodo de esgoto (15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> de LE).

Mesmo não tendo sido verificada a influência do lodo de esgoto no teor total de As no solo, demonstrando a contribuição do solo na quantidade deste metal, verifica-se a influência destes tratamentos no teor disponível nas maiores doses de LE. Possivelmente, a aplicação de maiores quantidades de lodo proporcionou maior mineralização da matéria orgânica, liberando, dessa forma, maior quantidade desse metal que estava numa forma não disponível.

**Tabela 16.** Teores disponíveis de metais pesados no solo 6 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	64,35 b	8,7 b	<3	<25	<0,01	<3
ADM	35,25 b	11,4 b	<3	<25	<0,01	<3
Supl. K	48,00 b	11,85 b	<3	<25	<0,01	<3
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	32,20 b	42,45 b	<3	<25	<0,01	<3
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	48,00 b	86,7 b	<3	<25	<0,01	<3
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	29,10 b	122,7 b	<3	<25	<0,01	<3
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	141,40 ab	200,7 ab	<3	<25	<0,01	<3
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	186,40 a	333,9 a	<3	<25	<0,01	<3
F	**	**	-	-	-	-
CV%	68,94	82,92	-	-	-	-

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

Quando se compara os teores totais com os disponíveis de Cd no solo, verifica-se que, do total detectado nas maiores doses de LE, em torno de 50% está na forma prontamente disponível para as plantas. É evidente a maior distribuição de Cd nas frações solúvel + trocável. Estas formas encontram-se ligadas por forças eletrostáticas nas cargas negativas da argila e da matéria orgânica do solo. O restante detectado no solo que não encontra-se numa forma disponível pode estar complexado na matéria orgânica adicionada ao solo através das doses de LE. As quantidades consideráveis encontradas na forma disponível podem ser justificadas pela baixa quantidade de matéria orgânica natural do solo e por se tratar de um solo de textura arenosa, com baixa quantidade de óxidos de Fe e Al. Segundo Hsu (1989), nos solos sob clima tropical, os óxidos de Fe e Al exercem importante papel no comportamento dos metais pesados. A adsorção desses elementos aos óxidos de Al pode ocorrer por meio da formação de ligações covalentes com o OH<sup>-</sup> e/ou O<sup>2-</sup> na superfície desses colóides.

**Tabela 17.** Teores disponíveis de metais pesados no solo 12 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	107,25	12,3	<3	<25	<0,01	<3
ADM	152,7	9,9	<3	<25	<0,01	<3
Supl. K	147,9	14,55	<3	<25	<0,01	<3
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	127,67	102,00	<3	<25	<0,01	<3
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	70,76	69,45	<3	<25	<0,01	<3
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	70,80	163,35	<3	<25	<0,01	<3
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	90,75	163,35	<3	<25	<0,01	<3
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	115,0	140,35	<3	<25	<0,01	<3
F	ns	ns	-	-	-	-
CV%	67,66	117,05	-	-	-	-

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 18.** Teores disponíveis de metais pesados no solo 18 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
ADM	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
Supl. K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
F	-	-	-	-	-	-
CV%	-	-	-	-	-	-

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

#### 6.4. Teores foliares de metais pesados

Verifica-se na Tabela 19 que aos seis meses após a aplicação do lodo não houve influência dos tratamentos nas concentrações de metais pesados nas espécies nativas. Mesmo tendo sido verificado maiores teores de alguns metais quando aplicado o LE no solo, este resultado não refletiu na presença destes elementos nas folhas das espécies florestais. Como foram avaliadas apenas as folhas-diagnóstico, não se tem informações se estes metais se acumularam em outras partes da planta. De acordo com Marques (1997),

espécies tolerantes geralmente acumulam maiores concentrações de metais pesados na raiz em relação à parte aérea, sendo que plantas que crescem em áreas contaminadas por metais pesados não conseguem evitar a absorção destes elementos, mas limitam sua translocação.

Outra possibilidade da não detecção dos metais pode ser explicada pelo efeito diluição. Como ocorreu uma baixa disponibilidade destes metais no solo e, por se tratar de espécies florestais de grande porte, a pequena quantidade de metal absorvida pelas plantas ficou diluída na grande quantidade de matéria seca produzida por elas, proporcionando teores abaixo do detectável pelo equipamento utilizado.

Oliveira e Mattiazzo (2001), estudando cana-de-açúcar em Latossolo tratado com lodo, também não verificaram teores de metais na parte aérea da espécie, apesar de constatarem aumentos lineares nos teores de alguns metais no solo. Já, Velasco-Molina et al. (2006) não verificaram, até a dose de 40 Mg ha<sup>-1</sup>, de lodo de esgoto, aumentos nos teores de Cd e Cr do solo e, tão pouco, foram verificadas evidências de fitodisponibilidade desses metais em árvores de eucalipto.

A adição inicial de LE visando o “arranque” no desenvolvimento das plantas e nos processos químicos e físicos que ocorrem no solo, não causaram a contaminação dos solos e das plantas por estes metais, até a dosagem máxima adicionada de 20 Mg ha<sup>-1</sup> em base seca. Como as espécies nativas não são utilizadas para alimentação humana, um possível acúmulo de metais nestas plantas não causaria perigo à cadeia trófica, sugerindo, nestas áreas, aplicações sucessivas de LE.

Aos 12 meses após a adição dos tratamentos, todos os elementos avaliados tiveram seus valores abaixo do limite de detecção do aparelho (Tabela 20) e, em função disto, não foi realizada a análise 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto.

**Tabela 19.** Teores médios de metais pesados nas folhas das espécies 6 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	0,133	0,049	0,067	0,038	-	0,381
ADM	0,184	0,015	0,101	0,031	-	0,938
Supl. K	0,197	0,012	0,072	0,005	-	0,215
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,250	0,052	0,162	0,048	-	0,770
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,225	0,013	0,128	0,041	-	0,420
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,263	0,011	0,094	0,054	-	1,136
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,220	0,023	0,049	0,056	-	0,911
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,171	0,024	0,110	0,036	-	1,233
F	ns	Ns	ns	ns	-	Ns
CV%	142,87	376,57	153,05	192,09	-	198,29

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 20.** Teores médios de metais pesados nas folhas das espécies 12 meses após aplicação dos tratamentos

Tratamentos	As	Cd	Cr	Pb	Hg	Ni
	----- $\mu\text{g kg}^{-1}$ -----		----- $\text{mg kg}^{-1}$ -----			
Testemunha	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
ADM	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
Supl. K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	< 0,01	<0,05
F	-	-	-	-	-	-
CV%	-	-	-	-	-	-

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

### 6.5. Análise física do solo

O uso do lodo de esgoto influenciou na formação dos agregados do solo até 12 meses após sua aplicação e somente em relação às partículas de maior e menor tamanho, 2 e < 0,5 mm, respectivamente (Tabelas 20 e 21). Verifica-se que os tratamentos que não receberam lodo e os que receberam a menor dose apresentaram maior quantidade de partículas com diâmetro < 0,5 mm. Este menor diâmetro de partículas e até mesmo a não formação de agregados nestes tratamentos são justificados pela baixa quantidade de argila presente neste solo, já que trata-se de um solo de textura arenosa, e também pela baixa

quantidade de matéria orgânica natural do solo. Os agregados do solo são formados pela união das partículas de areia, silte, argila e matéria orgânica (CASTRO FILHO et al., 2002), sendo os dois últimos considerados agentes cimentantes e, segundo Filizola et al. (2006), para uma maior agregação do solo é necessária a presença desses agentes.

Na classe de agregados com tamanho de 2 mm, a maior classe avaliada, observa-se que aos 6 meses após a aplicação do lodo de esgoto houve aumento na porcentagem quando aplicadas as maiores doses, 15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup>. Porém, estes tratamentos diferiram apenas do que recebeu a quantidade de 2,5 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto e dos tratamentos que não receberam lodo (Tabela 20). A distribuição de agregados em classes de tamanhos reflete o comportamento dos agregados no solo e serve como instrumento indicador de qualidade de solo. Neste caso, a adição de lodo de esgoto resultou na formação de agregados de maior tamanho, indicando uma melhoria na qualidade física do solo. Utilizando lodo da ETE Jundiaí em experimento sobre agregação de um Latossolo, Maria et al. (2007) constataram aumento do diâmetro dos agregados com o aumento das doses de lodo e da estabilidade de agregados, devido, ao aumento da matéria orgânica do solo.

Após 12 meses da aplicação do lodo, verifica-se redução da quantidade de agregados de maior tamanho, onde apenas as doses de 10, 15 e 20 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionaram os melhores resultados. Este fato pode ser atribuído à decomposição ou mineralização da matéria orgânica adicionada, sugerindo que para se manter esta melhoria nas características físicas do solo seria necessária nova aplicação do material orgânico.

A maior agregação atribuída ao aumento no teor de MO deve-se ao fato de ela apresentar grande superfície específica e capacidade de troca de cátions, possibilitando maior número de ligações eletrostáticas entre esta e as partículas de solo. Além disso, a sua decomposição por microrganismos resulta na formação de inúmeros compostos importantes na cimentação e estabilização dos agregados (ANGERS, 1992). De acordo com Melo e Marques (2000), a matéria orgânica presente no lodo de esgoto melhora o estado de agregação das partículas do solo, diminui sua densidade e aumenta a aeração.

**Tabela 21.** Estabilidade de agregados do solo após 6 meses da aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Fração Retida (%)				
	4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25	< 0,25
Controle	9,8 b	13,61	4,48	9,15 ab	62,96 a
NPK	10,26 b	12,79	4,78	10,25 a	61,42 a
K	3,34 b	18,20	5,66	9,83 ab	62,97 a
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	7,04 b	13,77	5,12	8,74 ab	65,33 a
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	18,11 ab	13,83	5,12	10,32 a	52,62 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	21,31 ab	12,66	4,66	8,9 ab	52,47 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	36,00 a	13,58	3,19	6,54 b	40,69 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	37,02 a	17,13	4,66	8,97 ab	32,22 b
F	**	ns	ns	*	**
C.V. (%)	59,44	25,47	34,27	16,59	20,18

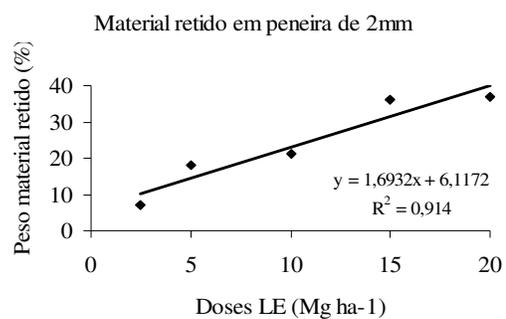
\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 22.** Estabilidade de agregados do solo após 12 meses da aplicação dos tratamentos.

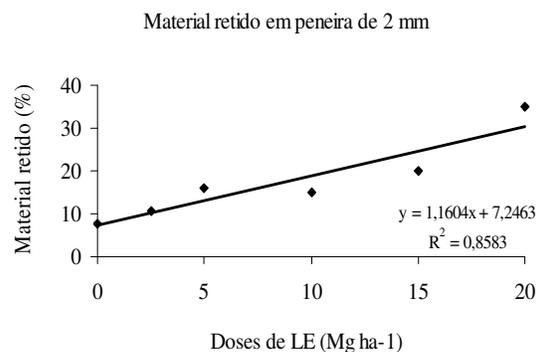
Tratamentos	Fração Retida (%)				
	4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25	< 0,25
Controle	7,6 b	14,2	4,9	10,2 a	63,1 a
NPK	5,3 b	15,8	4,4	9,4 ab	65,1 a
K	12,8 b	15,6	4,7	9,5 ab	57,4 a
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	10,6 b	13,4	4,9	11,2 a	59,9 a
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,1 b	12,9	5,6	9,9 a	55,5 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,1 ab	16,3	5,3	8,7 ab	54,6 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	20,0 ab	13,2	4,6	8,9 ab	53,3 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	35,0 a	16,5	4,0	6,6 b	37,9 b
F	**	ns	ns	**	**
C.V. (%)	53,57	20,59	17,16	13,90	13,53

\*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

Quando avaliada apenas as doses de lodo de esgoto, verifica-se nas Figuras 11A e 11B que doses crescentes acarretam acréscimos na porcentagem de agregados retidos na fração de 2 mm. Quanto maior a quantidade de lodo de esgoto adicionado, maior a influência da matéria orgânica na estabilidade de agregados.



**Figura 11A.** Quantidade de agregados formados em função de doses de lodo de esgoto adicionado ao solo, 6 meses após a aplicação do lodo.



**Figura 11B.** Quantidade de agregados formados em função de doses de lodo de esgoto adicionado ao solo, 12 meses após a aplicação do lodo.

Na Tabela 23 verifica-se que, após 18 meses da aplicação do lodo de esgoto, não houve mais diferenças entre os tratamentos na estabilidade de agregados. Os resultados indicam que após esse período deve ter ocorrido uma degradação do lodo de esgoto, não permitindo, assim, seu efeito benéfico nesta característica física por mais tempo. A diferença ocorrida no tratamento com 5,0 t ha<sup>-1</sup> em relação à maior fração retida (2 mm) pode ser considerada aleatória.

Numa avaliação mais visual, observou-se que a maioria das partículas retidas na peneira de maior tamanho (2,0 mm) eram agregados, ou seja, solo + matéria orgânica. Porém, poucas partículas de lodo de esgoto foram encontradas, não se sabendo qual a sua porcentagem em relação aos agregados.

**Tabela 23.** Estabilidade de agregados do solo após 18 meses da aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Fração Retida (%)				
	4,0-2,0 mm	2,0-1,0 mm	1,0-0,5 mm	0,5-0,25	< 0,25
Controle	1,00 a	2,25	12,76	66,24	17,75
NPK	1,00 a	1,75	11,76	67,24	18,25
K	1,00 a	1,75	12,50	66,25	18,5
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,00 a	1,75	13,54	65,16	18,55
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	0,50 b	1,50	9,77	68,43	19,8
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,00 a	1,99	12,96	65,33	18,72
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,00 a	1,50	9,27	69,29	18,94
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	1,00 a	2,00	12,00	66,01	18,99
F	**	ns	ns	ns	Ns
C.V. (%)	21,90	33,61	24,50	4,97	15,97

\*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo. Letras iguais na coluna não diferem entre si .

Para a determinação de porcentagem de água retida pelo solo, observa-se na Tabela 23 que aos seis meses após a aplicação houve influência dos tratamentos no solo saturado e na tensão de 0,006 Mpa. Quando aplicada a maior dose de lodo de esgoto houve maior retenção de água pelo solo. Estes resultados podem ser atribuídos à formação de agregados maiores que, conseqüentemente, influencia na mobilidade de água no solo, e com a característica de grande capacidade de retenção de água apresentada pelos materiais orgânicos. Melo et al. (2004) não obtiveram alterações na retenção de água quando aplicaram doses de até 50 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em solos de textura média e argilosa. O efeito da aplicação do lodo depende do tipo de solo e da quantidade aplicada. Segundo Marciano et al. (2001), quando o solo originalmente possui uma boa estrutura, podem não ocorrer melhorias nos atributos físicos, mesmo com a aplicação de grandes quantidades de lodo, principalmente em propriedades com grande variabilidade espacial, como as de transmissão de água no solo. Neste experimento, por se tratar de um solo arenoso, pouco estruturado, a adição de matéria orgânica proporcionou respostas positivos até esta época avaliada.

Na avaliação realizada aos doze meses, este efeito positivo da aplicação do lodo não foi mais observado, mesmo com a alteração na estabilidade de agregados ocorrida nesta época (Tabela 24). Resultados semelhantes foram obtidos também aos dezoito meses (Tabela 25).

**Tabela 24.** Porcentagem de água retida no solo 6 meses após a aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Tensão (Mpa)		
	Saturado	0,003	0,006
Controle	29,58 abc	26,17	24,46 abc
NPK	27,68 bc	26,47	23,71 ab
K	26,67 c	25,67	22,96 c
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	29,53 abc	26,79	24,62 abc
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	27,46 c	26,13	23,18 c
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	27,85 bc	26,09	23,40 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	30,47 ab	26,73	25,03 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	31,29 a	27,10	25,66 a
F	**	ns	**
C.V. (%)	4,28	5,86	3,06

\*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 25.** Porcentagem de água retida no solo 12 meses após a aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Tensão (Mpa)		
	Saturado	0,003	0,006
Controle	40,42	31,45	26,96 ab
NPK	37,95	31,24	25,82 b
K	39,03	32,71	26,26 ab
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	40,70	30,21	26,40 ab
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	40,77	32,29	27,40 a
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	40,48	30,83	26,62 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	41,04	32,08	27,12 a
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	40,47	31,04	26,64 ab
F	ns	Ns	**
C.V. (%)	3,74	10,73	1,93

\*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 26.** Porcentagem de água retida no solo 18 meses após a aplicação dos tratamentos.

Tratamentos	Tensão (Mpa)		
	Saturado	0,003	0,006
Controle	15,00	37,77	22,77
NPK	15,00	37,38	22,39
K	15,90	38,31	22,17
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,03	36,87	21,84
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,05	37,98	21,93
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,60	37,33	21,76
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,63	37,85	22,22
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	14,73	37,07	22,33
F	ns	Ns	ns
C.V. (%)	10,76	3,64	3,23

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

Nas Tabelas 26, 27 e 28 podem ser vistos os resultados da aplicação de lodo de esgoto na porosidade do solo aos 6, 12 e 18 meses após a aplicação do resíduo, respectivamente. Aos seis meses houve influência dos tratamentos na quantidade de macro, micro e porosidade total do solo, onde os valores foram superiores a partir da aplicação de 20 Mg ha<sup>-1</sup>. Melo et al. (2004) verificaram aumento apenas na porosidade total do solo com a aplicação de doses acima de 47,5 Mg ha<sup>-1</sup> e 50,0 Mg ha<sup>-1</sup> no LVd e LVef, respectivamente, na camada de 10 cm.

Aos doze meses houve influência dos tratamentos apenas para a microporosidade, onde a dose de LE de 15 Mg ha<sup>-1</sup> proporcionou os melhores resultados (Tabela 26). A não influência da aplicação de lodo na porosidade total corrobora com os resultados de Furrer e Stauffer (1983) que afirmam que, dependendo da condição física original do solo, a adição do lodo de esgoto pode não ter efeito significativo na porosidade total. Jorge et al. (1991) e Melo et al. (2004) observam que quantidades de lodo de esgoto até 50 Mg ha<sup>-1</sup> não alteram a porosidade e microporosidade do solo.

Aos dezoito meses após a aplicação do lodo já não ocorreu influência dos tratamentos na porosidade do solo.

**Tabela 27.** Porosidade no solo 6 meses após a aplicação do lodo de esgoto.

Tratamentos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total
	----- % -----		
Controle	5,11 ab	24,46 abc	29,58 abc
NPK	3,70 b	22,96 c	27,68 bc
K	3,96 ab	23,71 ab	26,67 c
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4,90 ab	24,62 abc	29,53 abc
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4,27 ab	23,18 c	27,46 c
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	4,45 ab	23,40 ab	27,85 bc
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	5,45 ab	25,03 ab	30,47 ab
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	5,62 a	25,66 a	31,29 a
F	*	**	**
C.V. (%)	15,84	3,06	4,28

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 28.** Porosidade no solo 12 meses após a aplicação do lodo de esgoto.

Tratamentos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total
	%		
Controle	13,46	26,96 ab	40,42
NPK	12,13	25,82 b	37,95
K	12,76	26,26 ab	39,03
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	14,30	26,40 ab	40,70
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	13,36	27,40 a	40,77
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	13,86	26,62 ab	40,48
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	13,91	27,12 a	41,04
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	13,82	26,64 ab	40,47
F	Ns	**	ns
C.V. (%)	9,96	1,93	3,74

\* significativo a 1% de probabilidade, \*\* significativo a 5% de probabilidade no teste Tukey, ns = não significativo.

**Tabela 29.** Porosidade total no solo 18 meses após a aplicação do lodo de esgoto.

Tratamentos	Macroporosidade	Microporosidade	Porosidade Total
	%		
Controle	15,00	22,77	37,77
NPK	15,00	22,39	37,38
K	15,90	22,17	38,31
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,03	21,84	36,87
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	16,05	21,93	37,98
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,60	21,76	37,33
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	15,63	22,22	37,85
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	14,73	22,33	37,07
F	Ns	ns	ns
C.V. (%)	10,76	3,23	3,64

ns = não significativo.

Esses resultados indicam que a quantidade de lodo aplicado foi suficiente para melhorar as características físicas do solo até os 12 meses, onde verificou-se influência dos tratamentos na formação de agregados e na porosidade do solo. Estes efeitos não foram mais observados a partir desta época devido a mineralização da matéria orgânica, visto que aos 18 meses não houve influência dos tratamentos para os parâmetros avaliados. Isto pode ser comprovado com a análise química da matéria orgânica no período em estudo (Tabela 29). O lodo é um resíduo que melhora a densidade do solo, sua porosidade e sua capacidade de retenção de água (SILVA et al., 2008).

**Tabela 30.** Teor de matéria orgânica no solo antes da implantação do experimento e nos 3 períodos de avaliação.

Tratamentos	M.O.			
	Época (meses)			
	Antes***	6	12	18
	----- g dm <sup>-3</sup> -----			
Controle	9,0	13,0 b	12,7 ab	8,4 ab
NPK	9,0	12,6 b	12,7 ab	8,9 ab
K	9,0	12,1 b	12,7 ab	8,3 b
2,5 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,0	17,6 ab	11,0 b	9,5 ab
5,0 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,0	17,6 ab	13,2 ab	9,1 ab
10 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,0	18,1 ab	13,7 ab	8,7 ab
15 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,0	19,8 a	16,0 a	10,9 a
20 Mg ha <sup>-1</sup> + K	9,0	21,0 a	16,2 a	9,1 ab
F	--	**	*	ns
C.V. (%)	--	16,6	14,13	11,8

\*significativo a 1% de probabilidade \*\* significativo a 5% de probabilidade \*\*\* antes da implantação ns = não significativo

## 7. CONCLUSÕES

As espécies nativas da Mata Atlântica responderam positivamente à aplicação do lodo de esgoto, e os tratamentos com as maiores doses promoveram maiores respostas de crescimento, superando o tratamento com adubação mineral, sendo possível substituí-la pela aplicação de lodo de esgoto em plantios florestais.

Até a dose de 20 Mg ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto proveniente da ETE de Jundiaí-SP não há contaminação por metais pesados no solo e nas plantas, pois os valores dos metais pesados encontrados no lodo estão abaixo do limite estabelecido pelas normas oficiais que regulamentam a utilização do lodo de esgoto na agricultura no estado de São Paulo.

Em relação às características físicas do solo, as maiores doses de lodo de esgoto influenciaram na formação de agregados e na porosidade do solo, até 12 meses após a aplicação, sendo necessária, após este período, a reaplicação desse resíduo para a manutenção de tais melhorias.

O lodo de esgoto pode ser utilizado para recuperação de áreas degradadas com plantio de espécies nativas da Mata Atlântica.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIANO, D. C. **Trace elements in the terrestrial environment**, New York: Springer-Verlag, 533 p. 1986.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com biossólido. **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 769-776, 2000.

ALLOWAY, B. J. **Heavy Metals in Soils**. New York, Jonh Wiley & Sons, Inc., 1990. p. 3-39 e 101-121.

ALTAFIN, V. L. et al. Utilização de lodo de fosfatização na produção de mudas de espécies nativas. **Engenharia ambiental**, v.1, n.1, p.45-50, 2004.

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; VELLOSO, A. C. X.; OLIVEIRA, C. de. Mobilidade de Metais Pesados em Solo Tratado com Resíduo Siderúrgico Ácido. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 345-353, 1998.

ANDRADE, A. P. A. **Avaliação da utilização de protetor físico de germinação e semeadura direta das espécies *Copaifera langsdorffii* desf. e *Enterolobium***

- contortisiliquum* (vell.) Morong. em área degradada pela mineração. 2008. 69 p.  
Dissertação de Mestrado, Publicação EFLM 092, Departamento de Engenharia Florestal,  
Universidade de Brasília, DF, 2008.
- ANDRADE, C. A. de. **Nitratos e metais pesados no solo e em plantas de *Eucalyptus grandis* após a aplicação de biossólido da ETE de Barueri.** Piracicaba : ESALQ. 604p.  
1999. Dissertação (Mestrado em Agronomia – concentração em Solos e Nutrição de Plantas)-  
Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- ANDRADE, C. A., OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Qualidade da matéria orgânica e estoques  
de carbono e nitrogênio em Latossolo tratado com biossólido e cultivado com eucalipto.  
**Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.5, p.803-816, 2005.
- ANDREOLI, C. V. et al. “**Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias –  
Lodo de Esgotos: Tratamento e Disposição Final**”. Belo Horizonte, 2001.  
UFMG/SANEPAR. 484p.
- ANDREOLI, V. C.; FERNANDES, F.; LARA, A. I. **Reciclagem de Biossólidos:**  
transformando problemas em soluções. Sanepar, Curitiba, 1999, p. 194.
- ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S.; HOPPEN, C.; TAMANINI, C. R.; NEVES, P. S.  
Produção, composição e constituição de lodo de estação de tratamento de água (ETA). In:  
ANDREOLI, C. V. **Alternativas de uso de resíduos do saneamento.** Rio de Janeiro: ABES,  
2006. cap. 3, p.29-48.
- ANGERS, D. A. Changes in soil aggregation and organic carbon under corn and alfalfa. **Soil  
Sci. Soc. Am. J.**, 56:1244-1249, 1992.
- BAGATINI, L.; GRÉCIO, M.; LICODIEDOFF, S.; GOELLNER, C. I. Metais Pesados em  
Alimentos. **Perspectiva**, 22:9-32, 1998.

BAKER, A. J. M. Accumulators and excluders - strategies in the response of plants to heavy metals. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.3, n.1/4, p.643-654, 1981.

BAKER, A. J. M. Metal tolerance. **The New Phytologist**, London, v.106, p.93-111, 1987.

BARBOSA, L. M. Sucessão vegetal e modelos de recuperação. In: Seminário regional sobre recuperação de áreas degradadas: subsídios para a conservação da biodiversidade e manutenção dos sistemas hídricos. (**Apostila**). SMA- IBt, Mogi Guaçu, 41p, 2003.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; I. C. B. FONSECA, I. C. B. Condutividade hidráulica saturada e não saturada de Latossolo Vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**. vol.28 no.2. Viçosa Mar./Apr. 2004.

BARBOSA, G. M. de 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, out./dez. 2006.

BARBOSA, G. M. C.; TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I. C. B. Avaliações de propriedades físicas de um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto por dois anos consecutivos. **Sanare**, Curitiba, v.17, n.17, p.94-101, 2002

BARCELÓ, J.; POSCHENRIEDER, C. Respuestas de las plantas a la contaminación por metales pesados. **Suelo y Planta**, v.2, n.2, p.345-361, 1992.

BERTONCINI, E. I.; & MATTIAZZO, M. E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 23:737-744, 1999.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A.; **Impacto Ambiental do uso agrícola de lodo de esgoto**. Brasília: Embrapa, 2000. 312p.

BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C.; PRADO, N. J. S. **Implantação de mata ciliar**. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 1995. 28p.

BOTOSSO, P. C.; MATTOS, P. P. de. **Conhecer a idade das árvores: Importância e aplicação**. Colombo: Embrapa Florestas, 2002, 25 p. il.: (Embrapa Florestas. Documentos, 75).

BRADY, N. C.; Weil, R. R. **The Nature and Properties of Soils**. 11.ed., New Jersey, Prentice Hall, 1996. p.615-620.

BROWN, S. L.; CHANEY, R. L.; ANGLE, J. S.; BAKER, A. J. M. Zinc and cadmium uptake by hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* grown in nutrient solution. **Soil Science Society of America. Journal**, Madison, v.59, n.1, p.125-133, 1995.

MARIA, I. C.; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia** v.66 no.2 p.291-298. IAC, Campinas, 2007.

CARPANEZZI, A. A.; COSTA, L. G. L.; CASTRO, C. et al. Espécies pioneiras para a recuperação de áreas degradadas: a observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO 6., 1990, Campos de Jordão. **Anais...Campos de Jordão: SBS/SBEF**, 1990. p.216-221

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e usos da madeira**. Colombo: EMBRAPA–CNPQ, 1994. 640p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003. 1039p.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; GUIMARÃES, M. F.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, v.65, n.1, p.45-51. 2002.

CAVASSAN, O.; CESAR, O.; MARTINS, F. R. Fitos-sociologia da vegetação arbórea da Reserva Estadual de Bauru, estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.7, n.2, p. 91-106, dez. 1984.

CEOLATO, L. C.; BERTON, R. S. **Lodo de esgoto líquido na disponibilidade de nutrientes e alterações dos atributos químicos de um argissolo**. Dissertação. Campinas: Instituto Agrônômico, 2007. 45fls.

CETESB. COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – Critérios para projeto e operação**. Sao Paulo, 1999. 32 p.

CLARK, D. A. **Plant demography**. In: La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest (McDade, L. A.; Bawa, K. S.; Hespheide, H. A. e Hartshorn, G. S., eds.). University of Chicago Press, Chicago, EUA, 1994. pp. 90-105.

CRESTANA, C. S. M.; KAGEYAMA, P. Y. Biologia de polinização de *Copaifera langsdorffi* Desf. (Leguminosae-Caesalpinioidea), o óleo-de-copaíba. **Revista do Instituto Florestal**, v. 1, n. 1, p. 201-214, 1989.

CROMER, R. N. Irrigation of radiata pine with wastewater: A review of the potential for tree growth and water renovation. **Aust. For.**, v. 43, p. 87-100, 1980.

CONAMA. (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 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, e dá outras providências**. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2006.

DAVIDE A. C. 1994. Seleção de espécies vegetais para a recuperação de áreas degradadas. In: Simpósio Sul-Americano, 1 e Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2, Foz do Iguaçu, **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.111-122.

DENSLOW, J. S. Functional group diversity and responses to disturbance. In: Biodiversity and ecosystem processes in tropical forests (Orians, G. H.; Dirzo, R. e Cushman, J. H., eds.).**Springer-Verlag**, Berlim, Alemanha, 1996. pp. 127-151.

DUFFUS, J. H. “Heavy metals”—A meaningless term? **Pure and Applied Chemistry**, v. 74, n. 5, p. 793–807, 2002.

DURIGAN, G.; NOGUEIRA, J. C. B. **Recomposição de matas ciliares**. São Paulo: CESP, 1990. 14 p. (Série Registro).

EGREJA FILHO, F. B. **Avaliação da ocorrência e distribuição dos metais pesados na compostagem de lixo domiciliar urbano**. 1993. 176 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agroquímica), Universidade Federal de Viçosa, 1993.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos-CNPS. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa-SPI; Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 2006. 306 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) **Manual de métodos de análise de solo**. 2ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997. 212 p.

ESSINGTON, M. E. Soil and water chemistry: na interative approach. **Boca Raton**, CRC, 2004. 534p.

FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Lavras: ESAL, 1994. 227 p.

FARIA, B. F. **Anéis de crescimento como indicadores da contaminação ambiental: o uso da técnica de fluorescência de raios X por reflexão total com Radiação Síncrotron (SR-**

**TXRF**). 2007. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP: [s.n.], 2007.

FAUSTINO, R. et al. Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.278-282, 2005.

FELFILI, J. M. **Structure and dynamics of a gallery forest in central Brazil**. Oxford, Thesis (Ph.D.) - University of Oxford, 1993.

FELFILI, J. M.; FAGG, C. W.; SILVA, J. C. S.; OLIVEIRA, E. C. L.; PINTO J. R. R.; SILVA, J. R. M. C.; RAMOS, K. M. O. **Plantas da APA Gama e Cabeça-de-Veado: espécies, ecossistemas e recuperação**. 2002. 52p. Universidade de Brasília, Dep. Engenharia Florestal, 2002: il.

FERREIRA, D. F. **Sisvar versão 4.2**. DEX/UFLA, 2003.

FILIZOLA, H. F. et al. Lodo de esgoto: estabilidade de agregados e argila dispersa em água. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2006. p. 137-148.

FURRER, O. J.; STAUFFER, W. Influence of sewage sludge application on physical properties of soils and its contribution to the humus balance. In: The influence of sewage sludge application on physical and biological properties of soils. **Dordrecht**: D. Reidel, 1983. p.65-74.

GONÇALVES, J. L. M.; NOGUEIRA JÚNIOR, L. R.; DUCATTI, F. Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2003. p.111-163.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Aplicabilidade de bio-sólido em plantações florestais: II. Efeito na fertilidade do solo, nutrição e crescimento das árvores. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.) **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000a. p. 179-195.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000b. p. 80-102.

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M. Alternativas de minimização da produção e desaguamento de lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p.25-44.

GONÇALVES, J. L. M.; RAIJ, B. van; GONÇALVES, J. C. Florestais. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico e Fundação IAC, 1996. p.247-259.

GRUBB, P. J. A theoretical background to the conservation of ecologically distinct groups of annuals and biennials in the chalk grassland ecosystem **Biol.Conserv.** (10), 53 – 76, 1976.

GUEDES, M. C. ; POGGIANI, F. Variação dos teores de nutrientes foliares em eucalipto fertilizado com bio-sólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 63, p. 188-201, 2003.

GUERRINI, I. A.; TRIGUEIRO, R. M. Atributos físicos e químicos de substratos compostos por bio-sólido e casca de arroz carbonizada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.6, p.1069-1076, 2004.

GURGEL FILHO, O. A; MORAES, J. L.; GURGEL GARRIDO, L. M. A. Espécies nativas euxilóforas. São Paulo: **Silvicultura em São Paulo**. v.16, n.2, p 890-894, 1982.

HARIDASAN, M. Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia**, v.12, n.1, pp. 54-64, 2000.

HARRISON, R. B.; GUERRINI, I. A.; HENRY, C. L.; COLE, D. W. Reciclagem de resíduos industriais e municipais em áreas de reflorestamento. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.198, p. 1-21, julho 2003.

HARTSHORN, G. S. Treefalls and tropical forest dynamics. In: P. B. Tomlinson & M. H. Zimmermann (eds.), *Tropical trees as living systems*, Cambridge Univ. Press, New York, EUA, 1978. pp. 617-638.

HUE, N. V. Sewage sludge. In: REICHCIGL, J.E. **Soil amendments environmental quality**. Boca Raton: CRC Press, 1995, p.199-247.

HSU, P. H. Em *Aluminum oxides and oxyhydroxides*; Dixon, J. B.; Weed, S. B., eds.; Soil Science Society of America: Madison, 1989, cap. 5.

IBÁÑEZ-GRANELL, A.; SANCHÍS, A.; GARCÍA CAMARERO, J.; INGELMO-SÁNCHEZ, F. Reclamation of abandoned land with sewage sludge and plant cover. **Studia Oecológica**, v.10, p.101- 108, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS – IBAMA. **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação**. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.

JESUS, R. M. Revegetação: da teoria à prática – técnicas de implantação. In: Simpósio Sulamericano, 1./Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, 2., Foz do Iguaçu, 1994. **Anais...** Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, p.123-134, 1994.

JORGE, J. A.; CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S. Condições físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro quatro anos após aplicação de lodo de esgoto e calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.237-240, 1991.

KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315p.

KABATA-PENDIAS, A. e PENDIAS, H.1992. **Trace Elements in Soils and Plants**. 3. ed. USA: CRC Press, Inc. Boca Raton, p.74-143.

KAGEYAMA, P. Y. e GANDARA, F. B. Recuperação de áreas ciliares, PP. 249-269 In: Matas ciliares: conservação e recuperação, 2ª edição (Rodrigues, R. R. e Leitão Filho, H. F., eds). **Editora da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2001.

KAGEYAMA, P. Y. e CASTRO, C. F. A. Sucessão secundária, estrutura genética e plantações de espécies arbóreas nativas. **IPEF**, Piracicaba, n.41/42, p. 83-93, 1989.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n.1, p.405-416, 2008.

LAMY, I.; BOURGEOIS, S. & BERMOND, A. Soil cadmium mobility as a consequence of sewage disposal. **J. Environ. Qual.**, 22:731-737, 1993.

LARCHER W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução PRADO, C. H. B. A. São Carlos – SP, RiMa, 2000.

LARINI, L. 1993. **Toxicologia**. 2.ed. São Paulo, Ed. Manole, p.128-130.

LAKE, D. L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J. N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.

LIMA, J. S. Processos Biológicos e o biomonitoramento: aspectos bioquímicos e morfológicos In: MAIA, N. B.; MARTOS, H. L.; BARRELLA, W. **Indicadores ambientais: conceitos e aplicações**. São Paulo, 2001, p. 117-143.

LI, Z.; SHUMAN, L. M. Heavy Metal Movement in Metal-Contaminated Soil Profiles. **Soil Science**,161:656-666, 1996.

LORENZI, H.; SOUZA, V.C. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira**, baseado em APG II. 4ª ed. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 639p, 2008.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas do Brasil*. v.1, 4ª ed. Nova Odessa. Editora Plantarum, 367p, 2002.

LORENZI, H. *Árvores brasileiras: Manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*. v.1, 3ª ed. Nova Odessa. Editora Plantarum, 352p, 2000.

LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. da; ALENCAR, J. da C. *Essências madeireiras da Amazônia*. Manaus: **INPA**, 2v, 245p., 1979.

LUCHESI, L .A. C. et al. Pastagens: um sistema de produção para reabilitação de áreas degradadas no Brasil. In: Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas, Curitiba, 1992, **Anais...** Curitiba: UFPR/FUPEF, p.83-92, 1992.

MACHADO, M. F.; FIGUEIREDO, R. F.; FILHO, B. C. Produção brasileira de lodos de esgotos. **SANARE** , v.22, p. 66-75, 2004.

MARCIANO, C. R.; MORAES, S. O.; OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Efeito do lodo de esgoto e do composto de lixo urbano sobre a condutividade hidraulica de um Latossolo Amarelo saturado e nao saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.1-9, 2001.

MARIA, I. C de; KOCSSI, M. A.; DECHEN, S. C. F. Agregação do solo em área que recebeu lodo de esgoto. **Bragantia** v.66 no.2 Campinas, 2007.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu Impacto Ambiental: Micronutrientes e Metais Pesados, Mitos, Mistificação, e Fatos**. São Paulo: Produquímica, p. 4-121, 1994.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MARQUES, V. S. **Efeitos de zinco e cádmio em arroz (*Oryza sativa L.*) cultivado em solução nutritiva e em solo tratado com lodo de esgoto enriquecido**. Tese de M.Sc. UFRRJ, Rio de Janeiro, 1997.

MARQUES, T. C. L. S.; Moreira, F. M. S.; Siqueira, J. O.. Crescimento e teor de metais de mudas de espécies arbóreas cultivadas em solo contaminado com metais pesados. **Pesq. agropec. bras.** vol.35 no.1 pp. 121-132..Brasília. Jan 2000. ISSN 0100-204X.

MARQUES, T. C. L. L. S.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Crescimento de mudas de espécies arbóreas em solo contaminado com metais pesados. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS**, 3., 1997, Ouro Preto.

MARQUES, M. O.; NOGUEIRA, T. A. R.; FONSECA, I. M.; MARQUES, T. A. Metais pesados em solo tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-acucar. **Colloquium Agrariae**, v.2, n.1, p.46-56, 2006

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS, P. D.; GUERRINI, I. A. **Análise nutricional de algumas espécies nativas da Mata Atlântica: I. Espécies pioneiras e secundárias**. Botucatu: UNESP/FCA/ Depto. de Recursos Naturais/ Depto. de Ciências do Solo, 2001. 28p. (Relatório PIBIC/CNPq, dados não publicados).

MARTOS, H. L.; MAIA, N. B. (coord). **Indicadores Ambientais**, Sorocaba, 1997, 266 p.

MARX, D. H.; BERRY, C. R.; KORMANIK, P. P. Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: Symposium Sponsored By Divisions S-6 And S-7 Of The Soil Science Society Of America And A-5 Of The American Society Of Agronomy, 1993, Cincinnati, Ohio. **Agricultural utilization of urban and industrial byproducts: proceedings**. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995. p.275-295. (ASA special publication, 58). Editors, D. L. Karlen, R. J. Wright, and W. D. Kemper.

MATTOS, A. T.; FONTES, M. P. F.; JORDÃO, C. P.; COSTA, L. M. Mobilidade e formas de retenção de metais pesados em latossolo Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.20, n.3, p.379-386, 1996.

MAZUR, N. **Níquel, chumbo, zinco e cobre em solos que receberam composto de resíduos sólidos urbanos**. 1997. 129 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.

MELO, W. J; SILVA, F. C.; MARQUES, M. O.; BOARETTO, A. E. Critérios para o uso de resíduos sólidos urbanos na agricultura e impactos ambientais. In: **Congresso Brasileiro de Ciências do Solo**, 26, 1997, Rio de Janeiro. **Anais....**Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. (CD-ROM).

MELO, W. J.; MARQUES, M. O. Potencial do lodo de esgoto como fonte de nutrientes para as plantas. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Ed.) in: **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000, p.109-141.

MELO, V. P. de; BEUTLER, A. N.; SOUZA, Z. M. de CENTURION, J. F. e MELO, W. J. de. Atributos físicos de Latossolos adubados com biossólido. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72, jan. 2004.

MILES, J. Effects of experimental interference with stand atructure on stablishment of seedlings in Callunetum. **J.Ecol.** (62):, 675-87, 1976.

MILTHORPE, L. Mechanisms in biological competition, SEB Symposium 15, Cambrige University Press. Cambrige, 1961.

MORAIS, S. M. J. et al. Uso do lodo de esgoto da Corsan - Santa Maria (RS), comparado com outros substratos orgânicos. **Sanare**, v. 6, p. 44-49, 1997.

MORTVEDT, J. J. **Heavy metal contaminants in inorganic and organic fertilizers. Fertilizer Research**, Netherlands, n.43, p.55-61. 1996.

NAVAS, A.; MACHÍN, J.; NAVAS, B. Use of biossolids to restore the natural vegetation cover on degraded soils in the badlands of Zaragoza (NE Spain). **Bioresource Technology**, v.69, p.199-205, 1999.

NOGUEIRA, J. C. B. Reflorestamento heterogêneo com essências indígenas. São Paulo: Instituto Florestal. 75p. 1977. (Boletim Técnico 24).

NOLASCO, A. M.; GUERRINI, I. A.; BENEDETTI, V. Uso de resíduos urbanos e industriais como fontes de nutrientes. In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba : IPEF. 2000. p.385-414.

OLIVEIRA, F. C.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em Latossolo tratado com lodo de esgoto e em plantas de cana de açúcar. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 3, p. 581-593, 2001.

PAIVA, A.V. de ; 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** (IPEF), v. 37, p. 499-511, 2009.

PAIVA, H. N.; CARVALHO, J. G. e SIQUEIRA, J. O. Índice de translocação de nutrientes em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.) submetidas a doses crescentes de cádmio, níquel e chumbo. **Rev. Árvore** [online]., vol.26, n.4, pp. 467-473, 2002. ISSN 0100-6762.

PAIVA, H. N. **Toxidez de Cd, Ni, Pb e Zn em mudas de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) e ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standl.)**. 2000. 283 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2000.

PARON, M. E.; SIQUEIRA, J. O.; CURI, N.; VALE, F. R. Crescimento de copaíba e guatambu em resposta a fungo micorrizico, superfosfato, nitrogênio e fumigação do solo. **Cerne**. Lavras, v.2 n.2, p.15-30, 1996.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T. & PRATT, P. F. Redistribution of exchangeable calcium, magnesium, and aluminium following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 48:33-38, 1984.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BERNADETTI, V. Aplicação de biossólido em plantações florestais: I. Reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, N.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariuna: EMBRAPA MEIO AMBIENTE, 2000. p. 163-178.

PORTO, M. L. Vegetação metalófito e o desenvolvimento do setor mineral. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, Belém, 1986. **Anais....**Belém: EMBRAPA, CPATU, 1986, p.171-183.

POTOMATTI, A.; BARBOSA, L. M. **A situação atual da recuperação de áreas degradadas no Estado de São Paulo e a importância da Resolução SMA 21 de 21/11/2001.** In: Curso de Capacitação Técnica: Recuperação de Áreas degradadas e tecnologia de sementes de espécies florestais nativas de Estado de São Paulo. Ilha Comprida, SP: Prefeitura Municipal de Ilha Comprida; SMA, IBT. p. 01-02. 2003.

POVINELLI, J. **Ação dos metais pesados nos processos biológicos de tratamento de águas residuária.** 1987. 258 f. Tese (Livre Docência em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.

ROCHA, T. R. **Utilização de lodo de esgoto na agricultura: um estudo de caso para as bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiaí.** Piracicaba, 1998. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de São Paulo. 1998.

ROBARDS, K. & WORSFOLD, P. Cadmium: Toxicology and Analysis. **Analyst**, 1991. 116(6): 549-568.

ROSS, S. M. Retention, transformation and mobility of toxic metals in soils. In: ROSS, S. M. (Ed.). **Toxic metals in soil-plant systems.** New York: Wiley, 1994. p.63-152.

ROSSELLI, W.; KELLER, C.; BOSCHI, K. Phytoextraction capacity of trees growing on metal contaminated soil. **Plant and Soil**, v.256, p.265-272, 2003.

SALT, D. E.; BLAYLOCK, M.; KUMAR, N. P. B. A.; DUSHENKOV, V.; ENSLEY, B. D.; CHET, I.; RASKIN, I. Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. **Biotechnology**, v.13, p.468-474, 1995.

SALVADOR, J. L. G.; OLIVEIRA, S. B. **Reflorestamento ciliar de açúdes**. São Paulo: CESP, 1989. 14 p. (Série Divulgação e Informação).

SCARPA, F. M. **Crescimento inicial de espécies pioneiras e não pioneiras das florestas semidecíduas do estado de São Paulo**. Campinas, SP: [s. n.], 2002.

SCHIRADO, T.; VERGARA, I.; SCHALSCHA, E. B. & PRATT, P. F. Evidence for movement of heavy metals in a soil irrigated with untreated wastewater. **J. Environ. Qual.**, 15:9-12, 1986.

SCHNITZER, S. A.; CARSON, W. P. Treefall gaps and the maintenance of species diversity in a tropical forest. **Ecology**, 82:913-919, 2001.

SEAKER, E. M., SOPPER, W. E. Municipal sludge for minespoil reclamation: II. Effects on organic matter. **J. Environ. Qual.**, Madison, v.17, n.4, p.598-602, 1988a.

SHEPPARD, M. I.; THIBAUT, D. H. Desorption and Extraction of Selected Heavy Metals From Soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 56:415-423, 1992.

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

SILVA, C. S.; GUERRINI, I. A. **Análise nutricional de algumas espécies nativas da Mata Atlântica: II. Espécies clímax**. Botucatu: UNESP/FCA/ Depto. de Recursos Naturais/ Depto. de Ciências do Solo, 2001. 26p. (Relatório PIBIC/CNPq, dados não publicados).

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: nutrientes,

metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.1, p.1-8, 1998.

SILVEIRA, M. L. A. **Extração seqüencial e especiação iônica de zinco, cobre e cádmio em latossolos tratados com biossólido**. 2002. 166 f. Tese (Doutorado em Agronomia, Area de Concentracao em Solos e Nutricao de Plantas). - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de Sao Paulo, Piracicaba, 2002.

SILVEIRA, M. L. A.; ALLEONI, L. R. F.; GUILHERME, L. R. G. Biosolids and heavy metals in soils. **Scientia Agricola**, v.60, p.793-806, 2003.

SIQUEIRA, J. O.; SOARES, C. R. S.; SILVA, C. A. Matéria orgânica em solos de áreas degradadas. In: SANTOS, G. A. et al. (Eds) **Fundamentos da matéria orgânica no solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 26, p.495-524.

SOARES, C. R. F. S. **Toxidez de zinco, cobre, cádmio e chumbo para o eucalipto em solução nutritiva**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 132 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Lavras, 1999.

SOARES, C. R. F. S.; ACCIOLY, A. M. A.; MARQUES, T. C. L. S. M.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Acúmulo e distribuição de metais pesados nas raízes, caule e folhas de mudas de arvores em solo contaminado por rejeitos de industrias de zinco, **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v. 13, n. 3, p. 302-315, 2001.

SORREANO, M. C. **Avaliação de aspectos da dinâmica de florestas restauradas com diferentes idades**. 2002, 145p. Dissertação (Mestrado), Piracicaba, ESALQ/USP, 2002.

SORT, X., ALCANIZ, J. M. Effects of sewage sludge amendment on soil aggregation. **Land Degradation & Development**, Oxford, v.10, n.1, p.3-12, 1999.

SPEARKS, D. L. Environmental soil chemistry. San Diego Academic Press, 1995. 2677p.

- TAYLOR, R. W.; XIU, H.; MEHADI, A. A.; SHUFORD, J. W. & TADESSE, W. Fractionation of residual cadmium, copper, nickel, lead, and zinc in previously sludge-amended soil. **Comm. Soil Sci. Plant Anal.**, 26:2193-2204, 1995.
- TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **European Journal of Soil Science**, London, v.3, n.2, p.141-163, 1982.
- TOLEDO FILHO, D. V. Competição de espécies arbóreas de cerrado. São Paulo: Boletim Técnico do Instituto Florestal. 1988. V.42, p.31-70.
- TSUTIYA, M. T. et al. “**Biossólidos na Agricultura**”. 2.ed. São Paulo, ABES. 468p., 2002.
- TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: \_\_\_\_\_, **Biossólidos na agricultura**. SABESP, São Paulo, 468p., 2001.
- US EPA, EPA Factsheets for Regulated Chemicals. **Hexachlorobenzene**. Washington, DC 1989.
- VAZQUEZ-YANES, C. & OROZCO-SEGOVIA, A. 1994. Signals for gaps. Exploitation of environmental heterogeneity by plants: Ecophysiological Processes Above and Below Ground(eds. M. CALDWELL & r. PEARCY). **Academic Press**, New York, pp 261-318.
- VAZQUEZ-YANES, C. & SMITH, H. Phytocrome controlo f seed germination in the tropical rain Forest Pioneer trees *Cecropia obtusifolia* and *Piper auritum* and its ecological significance. **New Phytologist**. (92)477-485, **1982**.
- VEIGA JUNIOR, V. F. & PINTO, A. C. O Gênero *Copaifera L*, **Química Nova**, v. 25, n. 2, 273-286, 2002.

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

VERKLEIJ, J. A. C.; PRAST, J. E. Cadmium tolerance and co-tolerance in *Silene vulgaris* (Moench.) Garcke [= *S. cucubalus* (L.) wilb.]. **The New Phytologist**, London, v.111, n.4, p.637-645, 1989.

VISSER, S. Management of microbial process in surface mined land reclamation in western Canada. In: TATE III, R.L., KLEIN, D.A. (eds.) **Soil reclamation processes**. New York: Marcell Dekker, 1985. p.204-241.

WISNIEWSKI, A. T. et al. O uso do lodo de esgoto da ETE – Belém na recuperação de áreas degradadas por mineração de calcário. **Sanare**, v.7, p. 76-85, jan. 1997. c

WHITMORE, T. C. ***An introduction to tropical rain forests***. Blackwell, London, 1990.

WHITMORE, T. C. A review of some aspects of tropical rain forest seedling ecology with suggestions for further enquiry, 1996. pp. 3-39. In: M. D. Swaine (ed.), ***The ecology of tropical forest seedlings***, UNESCO and Parthenon Publishing Group, Paris, 1996.

## APÊNDICE



**FIGURA 12.** Raspagem do solo para retirada da braquiária



**FIGURA 13.** Detalhe da raspagem da área.



**FIGURA 14.** Distribuição do lodo de esgoto



**FIGURA 15.** Parcelas após aplicação do lodo



**FIGURA 16.** Área implantada.



**FIGURA 17.** Aroeira 15 dias após o plantio.



**FIGURA 18.** 6 meses após o plantio.



**FIGURA 19.** 12 meses após o plantio.



**FIGURA 20.** 18 meses após o plantio.



**FIGURA 21.** 24 meses após o plantio.



**FIGURA 22.** 36 meses após o plantio.



**FIGURA 23.** 36 meses após o plantio.