

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

**INTERAÇÃO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO E CINZAS DE
BIOMASSA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO**

REGINA MARQUES LEITE

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP
Dezembro/2012

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

**INTERAÇÃO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO E CINZAS DE
BIOMASSA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO**

REGINA MARQUES LEITE

Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Doutor em Ciência
Florestal

BOTUCATU – SP

Dezembro/2012

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

L533i Leite, Regina Marques, 1981-
 Interação composto de lodo de esgoto e cinzas de biomassa no desenvolvimento inicial de eucalipto / Regina Marques Leite. - Botucatu : [s.n.], 2012
 xii, 116 f. : ils. color., grafs., tabs., fots. color.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012
 Orientador: Iraê Amaral Guerrini
 Inclui bibliografia

 1. Eucalipto - Mudas - Nutrição mineral. 2. Eucalipto - Produção de mudas. 3. Resíduos como fertilizante. 4. Adubação orgânica. I. Guerrini, Iraê Amaral. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

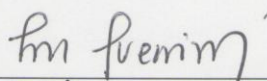
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INTERAÇÃO COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO E CINZAS DE
BIOMASSA NO DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO

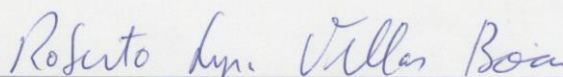
ALUNA: REGINA MARQUES LEITE

ORIENTADOR: PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI

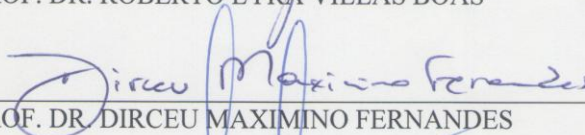
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



PROF. DR. DIRCEU MAXIMINO FERNANDES



PROF. DR. FERNANDO CARVALHO OLIVEIRA



PROF. DR. RODRIGO DE MENEZES TRIGUEIRO

Data da Realização: 18 de dezembro de 2012.

AGRADECIMENTOS...

Que privilégio poder agradecer! Uma sensação de gratidão difícil explicar... Mas houveram momentos em que duvidei... E nesses momentos de pouca fé, sinais e pessoas me deram forças para seguir em frente... À vocês: Família e Amigos verdadeiros, agradeço e dedico este trabalho. Ainda mais convicta de que gratidão não se expressa apenas através de palavras, se retribui com Ações...

Agradeço Eternamente à minha Família: Regina Célia, João Batista, Márcia e Sílvia Marques Leite... Obrigada por me ajudarem a evoluir! Agradeço especialmente minha Mãe, Regina Célia, pelo Amor incondicional!

Ao professores: Iraê Amaral Guerrini, Dirceu Maximino Fernandes, Roberto Lyra Villas Boas, Liovando Marciano Costa (UFV), Luciana Duque Silva (ESALQ) e Antonio Higa (UFPR); Carlos A. C. Crusciol pela ajuda e Amizade e aos membros da banca, Fernando Carvalho e Rodrigo Trigueiro.

Ao Gustavo Cardoso Fernandes e família, pelo apoio, ensinamentos e por caminhar um trecho dessa jornada ao meu lado, mesmo que por vezes não fisicamente, mas sempre com um gesto, uma palavra ou uma gentileza que me fez sorrir e seguir em frente!

À Mayara Matos, querida amiga, que me ajudou na instalação deste experimento. À Fabiana Storel, Renam Cruz, Lilian Favare, Angélica Deus, Franciana Pereira, Mário Neto (Fanho), Vitor Surinam Gamba, Deise de Paula, Thaís Lopes (Bicuíba), Flávia Silvestre (Sapucaia) e Grasiela Spada que tanto me ajudaram na condução, medições e encerramento deste experimento e todos os amigos da FCA que convivi. Bem como todos meus amigos de sempre, que estão no meu coração!

Aos amigos do “Departamento de Solos” da FCA, em especial ao Jair, De Pieri, Selma, Sylvia, Isaura, Adriana, Adilson, Adenir, Néia, Fátima e Roberto. Ao “Claudinho”, que forneceu as mudas que foram utilizadas no experimento. À Pós Graduação, em especial à Thainan... Pela Paciência e Atenção! Aos queridos Amigos da Biblioteca da FCA, em especial à Denise, Luiz, Ermeto, Joel, Inês, Ana Lúcia e Maísa França. Aos funcionários da gráfica da Unesp- Rubião Jr em Botucatu.

Ao amigos que ajudaram na realização de um sonho... Etapa Itália: Monica Sartori, Edna Bertoncini, Fernanda Coelho, Eliana Peresi, Rita Sampaio, Selma Miranda, Talita Silva Barbosa, Thais Ferreira de Deus, Daniela Minea e Família, Valentina

Barbuto, Antonella... À Edna Bertoncini, pesquisadora da APTA Piracicaba, mulher forte, lutadora, delicada e inteligente, que tanto me ajudou na realização de um sonho!

Aos amigos da Università degli Studi di Bari: Rosária Mininni, Daniela Malerba, Hamada Abdelrahman, Patrizia Ricciuti, Eliana Gattulo, Nico Carella, Giuseppe Mezzapesa, Magda Curca, Andreína Traversa, Valéria D'orazio e Nicola Senesi.

À todos que contribuíram de alguma forma: desde o pessoal da limpeza, da manutenção... Que muitas vezes ficam nos “bastidores”, mas são fundamentais para o bem estar de todos... À vocês, meus agradecimentos especiais!

À todas as crianças que alegam minha Vida e me ensinam tanto... Ao Mikael que sou madrinha, nas quais represento todas as crianças e desejo que lembrem-se sempre que, mesmo quando crescerem, mantenham a pureza em seus corações!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela bolsa PDEE fornecida.

Aos que apenas posso agradecer “*in memoriam*” com o coração: Agradeço à meus avós Aparecida e Antonio dos Santos, Antônia e Itagiba, aos quais posso agradecer pela infância e juventude de risos, passeios, férias, oportunidades e infundáveis lições! À Erivalda Barbosa de Melo, a “Valda”, que sou grata por ter cuidado de mim e de minhas irmãs e ao Amigo “Seu Clemente Abile”... Onde agora, fica a saudade, de todos que já cumpriram suas missões...

Agradeço também à todos que fazem parte da minha Família de Coração, onde o que nos une, não são laços sanguíneos... São aquelas pessoas que conhecemos (ou reconhecemos) em algum momento dessa travessia chamada Vida, que parece que faz tempo que conhecemos... Que nos ajudam ou nos permitem ajudar e depois seguem suas jornadas, mas continuam para sempre no coração!

Ao Dr. Celso Charuri e à todos Amigos que conheci nesta caminhada: à vocês, não há espaço para citar todos os nomes e as palavras não são capazes de dizer... Mas saibam que os agradeço, especialmente todos de Botucatu, Mogi das Cruzes, São Paulo, Piracicaba, Barra Bonita, Jaú, Belo Horizonte, Manaus, Roma, Latina, Verona...

E a Jesus Cristo, pelo exemplo que deixou na Terra, mostrando o Caminho, a Verdade e a Vida!

“*Nosce te ipsum...*”

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS.....	X
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
4.1 Mercado florestal	7
4.2 Importância do eucalipto.....	8
4.3 Custo da adubação do Eucalipto	8
4.4 Importância do uso de resíduos.....	9
4.5 Lodo de Esgoto	10
4.6 Lodo de Esgoto Compostado	13
4.7 Cinzas.....	14
4.8 Caracterização dos solos com resíduos pelo método Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR).....	16
4.9 Degradabilidade de carga orgânica do lodo de esgoto.....	19
4.10 Mineralização de N e P.....	21
5. MATERIAL E METODOS.....	24
5.2 Características do clima	24
5.3 Características da espécie	25
5.4 Caracterização do solo	25
5.5 Caracterização dos resíduos	26
5.5.1 Lodo de Esgoto – Processo de obtenção e compostagem	26
5.5.2 Cinzas de caldeira.....	30
5.6 Instalação do experimento	31
5.7 Definição dos tratamentos e delineamento experimental	31
5.8 Avaliações mensais.....	32
5.9 Leituras Clorofilômetro	32

5.10	Análise química foliar.....	32
5.11	Medição de área foliar	34
5.12	Análise química da planta.....	34
5.13	Caracterização das substâncias húmicas.....	34
5.13.1	Extração e fracionamento das substâncias húmicas dos solos	34
5.13.2	Purificação dos ácidos húmicos	35
5.13.3	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)	35
5.14	Análise estatística.....	35
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
6.1	Efeito no Crescimento das plantas.....	37
6.2	Análise química do solo.....	44
6.3	Teores e acúmulos foliares.....	51
6.4	Teores e acúmulos nos galhos.....	60
6.5	Teores e acúmulos no tronco	67
6.6	Teores e acúmulos nas raízes	76
6.7	Total de nutrientes acumulados pela planta	85
6.8	Avaliação das Substâncias Húmicas	89
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	95
8.	CONCLUSÕES	96
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 – Visão geral do experimento aos 3 meses de instalação	24
Figura 2 – Variação de temperatura (°C) durante condução do experimento.....	25
Figura 3 - Esquema do processo de obtenção do lodo na ETE Jundiaí – Retirado do site da CSJ -Cia Saneamento de Jundiaí.	27
Figura 4 - Visão geral das leiras de compostagem (a); Leira utilizada para coleta do lodo de esgoto na ETE de Jundiaí (b).....	28
Figura 5- Bags contendo cinzas de caldeira	31
Figura 6- Crescimento em altura (a) e diâmetro (b) de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).....	40
Figura 7- Ajuste da regressão para área foliar (a); massa de galhos (b); massa do tronco (c) e intensidade de cor verde (d) de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	41
Figura 8 - Ajuste da regressão para matéria orgânica (a); teor de Fe (b) e Mn (c); Teores médios de P (d);K (e) e CTC (f) encontrados em solos cultivados com eucalipto por 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	46
Figura 9- Teores médios de acidez potencial (a); teor de cálcio (b); teor de magnésio (c); Soma de Bases (d); V% (e); teor de boro (f); encontrados em solos cultivados com eucalipto por 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).....	47
Figura 10- Ajuste da regressão para teores de fósforo (a), cálcio (c) e magnésio (d) e teor médio de potássio foliar (b) e em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).....	53
Figura 11- Teor médio de boro (a) e ajuste da regressão para teores de cobre (b), manganês (c) e zinco (d) em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à	

aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	54
Figura 12- Ajuste da regressão para acúmulo de P (a); K (b);Ca (c); Mg (d); S (e); Zn (h) e acúmulo médio de boro (f) e manganês (g) acumulados em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinza e lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	55
Figura 13- Ajuste da regressão para teores de nitrogênio (a); cálcio (d); zinco (g) e teores médios de fósforo (b); potássio (c); boro (e) e manganês (f) em galhos de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado(0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	61
Figura 14- Acúmulo médio de P (a); K (b); Mn (g) e ajuste da regressão para acúmulo de Ca (c);Mg (d); enxofre (e); boro (f) e zinco (h) e acumulados em galhos de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado.....	62
Figura 15- Ajuste da regressão para teores de fósforo (a); potássio (b); cálcio (c) e magnésio (d) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	68
Figura 16- Ajuste da regressão para teores de boro (a); cobre (b); ferro (c) e zinco (e) e teor médio de manganês (d) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	69
Figura 17- Ajuste da regressão para acúmulo de fósforo (a); potássio (b); magnésio (c) e enxofre (d) acumulados em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	70
Figura 18- Ajuste da regressão para acúmulo de boro (a); cobre (b); ferro (c); manganês (d) e zinco (e) acumulados em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	71
Figura 19- Ajuste da regressão para teores de P (a); Mg (d); S (e); cobre (g) e Mn (h) e teores médios de K (b); Ca (c) e B (f) em raízes de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha ⁻¹).	78

- Figura 20- Ajuste da regressão para acúmulo de N (a) e teores médios acumulados de P (b); K (c); Ca (d); Mg (e) e S (f) acumulados em raízes de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹)..... 79
- Figura 21- Ajuste da regressão para acúmulo de B (a); cobre (b) e Fe (c) acumulados em raízes de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹). 80
- Figura 22- Teores médios de P (a); Ca (b) e Mn (d) e ajuste da regressão para cobre (c) total acumulados em plantas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹). 86
- Figura 23- Espectros (em cm⁻¹) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses sob aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e cinzas. 92
- Figura 24 - Espectros (em cm⁻¹) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses em função da aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)..... 93

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Características químicas das amostras de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.	26
Tabela 2 - Características químicas (micronutrientes) das amostras de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.	26
Tabela 3- Análises granulométricas de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.....	26
Tabela 4 – Análise química do lodo de esgoto utilizado para produção do composto orgânico de lodo e das cinzas feita pelo Laboratório de Fertilizantes e Resíduos – Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Identificação da Amostra : FSG-RES-020 – ver.01-Apr.30/09/2010. QS 1015/2010	29
Tabela 5- Características químicas das cinzas e do lodo de esgoto compostado.....	30
Tabela 6- Quantidade de nutrientes (kg.ha-1) fornecidos por cada tratamento. Valores calculados com base nos resultados das Tabelas 1, 2 e 4.....	33
Tabela 7– Análise de variância do experimento	36
Tabela 8- Área foliar e intensidade de cor verde (ICV) de plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas de caldeira, no município de Botucatu/SP (2011).	42
Tabela 9- Produção de massa seca de folhas, galhos, tronco, raízes e massa total (g) de plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas de caldeira, em Botucatu/SP (2011)	43
Tabela 10- Resultados da análise química de Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	48
Tabela 11- Resultados da análise química de Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	49

Tabela 12– Resultados da análise química de micronutrientes em Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	50
Tabela 13 - Teor de nutrientes nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	56
Tabela 14 - Teor de micronutrientes nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	57
Tabela 15 – Nutrientes acumulados (mg planta ⁻¹) nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	58
Tabela 16 - Micronutrientes acumulados (mg) nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	59
Tabela 17- Teor de nutrientes em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	63
Tabela 18 - Teor de micronutrientes em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	64
Tabela 19 – Nutrientes acumulados (mg) em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	65
Tabela 20 - Micronutrientes acumulados (mg) em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	66
Tabela 21 - Teor de nutrientes em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)	72
Tabela 22 - Teor de micronutrientes em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	73

Tabela 23 – Nutrientes acumulados (mg) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	74
Tabela 24 - Micronutrientes acumulados (mg) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	75
Tabela 25- Teor de nutrientes em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	81
Tabela 26 - Teor de micronutrientes em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	82
Tabela 27- Nutrientes acumulados (mg) em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	83
Tabela 28 - Micronutrientes acumulados (mg) em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	84
Tabela 29 – Total de macronutrientes acumulados (mg) em plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	87
Tabela 30 – Total de Micronutrientes acumulados (mg) em plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).	88
Tabela 31 - Espectros de infravermelho (em cm-1) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses em função da aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011). Legenda com identificação dos grupos funcionais.	94

1 RESUMO

Apesar dos interesses econômicos ainda serem os norteadores na resolução das situações, questões como a geração e destinação de resíduos começam a ser discutidas de forma um pouco mais realista e baseadas também em aspectos ambientais e sociais. Paralelamente, os plantios florestais passaram a ser discutidos dentro de um contexto mais amplo que não apenas para produção de matéria prima, mas de conservação dos recursos naturais.

Neste cenário, o tratamento e destinação de resíduos estão diretamente ligados a esses desafios. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi de avaliar a utilização de lodo de esgoto compostado e cinzas de caldeira, provenientes de fábrica de papel e celulose, em plantios de eucalipto, uma vez que o lodo de esgoto constitui fonte de matéria orgânica e de nutrientes para as plantas, com exceção do potássio, que é encontrado nas cinzas, além de evitar sua deposição em aterros sanitários, poupando os recursos naturais e reduzindo custos com fertilização química. Com isso, a hipótese deste trabalho é que um complementaria o outro na fertilização do eucalipto, podendo substituir a adubação convencional.

Foi realizado um experimento em casa de vegetação de cobertura plástica, utilizando-se mudas de eucalipto transplantadas em tambores plásticos devidamente identificados e preenchidos com 50 litros de solo e os seus respectivos tratamentos, definidos a fim de se avaliar o efeito de doses de lodo de esgoto compostado e cinzas de caldeira e a adubação convencional em um solo de textura média, por seis meses. Os tratamentos constituíram em um fatorial com 4 doses de cinza (0, 5, 10 e 15 Mg ha⁻¹) e 3 doses de Lodo de Esgoto Compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹), além de um tratamento testemunha absoluta e a adubação inorgânica convencional + calagem.

Os efeitos da adubação inorgânica convencional no crescimento inicial do eucalipto foram muito superiores ao do lodo de esgoto compostado com as cinzas, indicando que esses resíduos não substituem a adubação inorgânica, nas condições deste experimento.

O lodo de esgoto compostado (20 Mg ha^{-1}) juntamente com as cinzas (15 Mg ha^{-1}) podem ser utilizados na adubação inicial de eucalipto quando comparados à testemunha absoluta, pois promoveram incrementos de: área foliar, massa de galhos, massa do tronco, Intensidade de Cor Verde – ICV; acúmulos de Ca, Mg, S, B e Zn nos galhos; acúmulos de P, K, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn no tronco; acúmulos de N, B, Cu e Fe nas raízes e acúmulo total de cobre na planta.

Durante o período avaliado, não se detectou influência dos resíduos nos teores e composições das substâncias húmicas do solo, indicando que estudos sobre a taxa de mineralização desses compostos podem contribuir com informações importantes para seu uso.

INTERACTION OF COMPOSTED SEWAGE SLUDGE AND BOILER ASH ON INITIAL DEVELOPMENT OF EUCALYPTUS.

Botucatu, 2012. 92p.

Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: REGINA MARQUES LEITE

Adviser: IRAÊ AMARAL GUERRINI

2 SUMMARY

Despite the economic interests are still guiding the solution of situations, issues such as generation and disposal of waste are beginning to be discussed in a slightly more realistic way and also based on environmental and social aspects. At the same time, the forest plantations have been began to be discussed within a broader context that not only for raw materials production, but conservation of natural resources. In this scenario, the treatment and disposal of wastes are directly linked to these challenges. Thus, the aim of this study was to evaluate the use of composted sewage sludge and boiler ash from paper and pulp factory in *Eucalyptus* plantations, since the sewage sludge is a source of organic matter and nutrients for plants, exception to potassium, which is found in the boiler ash, to avoid their disposal in landfills, saving natural resources and reducing costs with chemical fertilization. Thus, the hypothesis is that each other can complement *Eucalyptus* fertilization and replace conventional fertilization.

The experiment was conducted in plastic greenhouse, using *Eucalyptus* seedlings transplanted in plastic pots and filled with 50 liters of soil. The treatments were defined in order to evaluate the effect of rates than of composted sewage sludge and boiler ash and compare with a conventional fertilization in a soil with medium textured for six months. The design used was a factorial with 4 levels doses of boiler ash (0, 5, 10 and 15 Mg ha⁻¹) and 3 doses of composted sewage sludge (0, 10 and 20 Mg ha⁻¹), and an absolute control treatment and conventional inorganic fertilization liming.

The effects of conventional inorganic fertilization on initial growth of *Eucalyptus* were higher than the composted sewage sludge with the boiler ash, indicating that these residues

don't substitute inorganic fertilizer, under the conditions of this experiment. The composted sewage sludge (20 mg ha^{-1}) together with the boiler ash (15 mg ha^{-1}) may be used in the initial fertilizations of *Eucalyptus* when compared to absolute control since promoted increasing in leaf area, mass branches, mass trunk, Green Color Intensity – ICV; accumulations of Ca, Mg, S, B and Zn in the branches; accumulations of P, K, Mg, S, B, Cu, Fe and Zn in the trunk; accumulations of N, B, Cu and Fe in the roots, and total accumulation of Cu in the plant.

During the study period, it wasn't detected impact of residues on the amounts and compositions of humic substances in soil, indicating that studies of mineralization rates of the mineralization of these compounds can provide important information for their use.

Key-words: use of waste; humic substances; forest nutrition, nutrient accumulation

3 INTRODUÇÃO

Apesar de interesses econômicos ainda serem os norteadores na resolução da maioria das situações, questões como a geração e destinação de resíduos começam a ser discutidas no Brasil de forma um pouco mais realista e baseadas também em aspectos ambientais e sociais. Paralelamente, os plantios florestais passaram a ser discutidos dentro de um contexto mais amplo que não apenas para produção de matéria prima, mas de conservação dos recursos naturais.

O setor florestal tem contribuído de forma positiva para o PIB brasileiro, sendo o eucalipto uma espécie de grande utilidade na indústria siderúrgica, de produção de papel e celulose, madeira, entre outros. Além disso, uma das grandes funções dos plantios comerciais consiste em diminuir a pressão e a demanda por espécies nativas, muitas vezes com elevado risco de extinção.

A exploração do tronco das árvores implica na retirada de grandes quantidades de nutrientes, os quais serão imprescindíveis ao crescimento das populações futuras. A não-reposição dos nutrientes exportados associada às perdas por processos erosivos e de lixiviação conduz, invariavelmente, a uma aceleração no depauperamento dos níveis de fertilidade química do solo, afetando diretamente a produtividade dos sítios florestais (MORO et al., 2008) .

Existem resíduos que, pela composição química e características físicas, podem ser utilizados como suplementação ou substituição da adubação inorgânica convencional reduzindo assim, custos com adubação, transporte e deposição de resíduos, além de ser um destino mais nobre que a deposição em aterros sanitários, por exemplo.

Nos últimos cinquenta anos, o Brasil se transformou de um país agrário em um país urbano, concentrando, em 2010, segundo o IBGE, 85% de sua população em áreas urbanas (IBGE, 2012). Entretanto, o crescimento das cidades brasileiras não foi acompanhado pela previsão de infraestrutura e de serviços urbanos, entre eles os serviços públicos de saneamento básico, que incluem o abastecimento de água potável, a coleta e tratamento de esgoto sanitário, a estrutura para drenagem urbana e o sistema de gestão e manejo dos resíduos sólidos (MMA, 2012).

Neste contexto, o lodo de esgoto advindo do tratamento de esgotos gerados pelos centros urbanos ainda é um grande problema ambiental para as poucas empresas de saneamento que o produzem. Por outro lado, apresenta um grande potencial que é pouco explorado. Apesar de tantos trabalhos mostrando o aumento da produtividade de várias culturas sem que isso implique em danos maiores, a legislação brasileira ainda se mostra muito restritiva, limitando cada vez mais o seu uso. Com isso, outra alternativa para o lodo de esgoto é sua compostagem para estabilização e higienização, pois o lodo de esgoto quando compostado apresenta, em sua composição química, altos teores de nutrientes, que podem variar em função de sua origem e grau de decomposição, o que o torna uma alternativa promissora para plantações florestais, além de reduzir custos com a sua deposição em aterros sanitários.

Já as cinzas são resíduos gerados nas caldeiras auxiliares de energia, por meio da combustão de cavacos e de carvão mineral. Em dosagens adequadas, seu uso pode produzir mudanças nas propriedades físicas e químicas dos solos, como por exemplo, elevação do pH, aumento do cálcio trocável, do fósforo e potássio disponíveis, além das melhores possibilidades de agregação das partículas do solo

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi utilizar o composto de lodo de esgoto em conjunto com as cinzas de caldeira na cultura do eucalipto no sentido de substituir o adubo inorgânico, avaliando-se a influência nas características de crescimento e nutrição mineral das plantas e nas características de solo.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Mercado florestal

O Brasil possui área total absoluta de 851 milhões de hectares. Desse total, 477,7 milhões correspondem a florestas naturais e 6,5 milhões a florestas plantadas, sendo 74,8% com eucalipto (ABRAF, 2012). Apesar das grandes oscilações e incertezas do mercado mundial, em 2011, a taxa de crescimento do PIB teve um incremento de 2,7%. A silvicultura contribuiu de forma positiva e os tributos arrecadados pelos segmentos associados às florestas plantadas representaram 0,51% da arrecadação nacional (ABRAF, 2012).

Uma das grandes funções dos plantios, segundo Lima (1997), consiste em diminuir a pressão e a demanda por espécies nativas, muitas vezes com elevado risco de extinção. Condições edafoclimáticas e fundiárias, aliadas à política histórica de investimento em pesquisa e desenvolvimento, à verticalização do setor e à qualidade de mão de obra empregada na atividade, proporcionam a maior produtividade por hectare e, conseqüentemente, o menor ciclo de colheita para os plantios florestais estabelecidos no Brasil (ABRAF, 2012).

A exploração do tronco das árvores implica na retirada de grandes quantidades de nutrientes, os quais serão imprescindíveis ao crescimento das populações futuras. A não-reposição dos nutrientes exportados associada às perdas por processos erosivos e de lixiviação conduz, invariavelmente, a uma redução da fertilidade química do solo, afetando diretamente a produtividade dos sítios florestais (GONÇALVES & BENEDETTI, 2000).

4.2 Importância do eucalipto

O eucalipto é uma espécie da família das Mirtáceas, originária da Austrália e introduzida no Brasil no início do século XIX. O gênero *Eucalyptus* possui mais de 600 espécies que se desenvolvem em condições diversas de solo e clima. A madeira oriunda de florestas plantadas é utilizada principalmente para produção de chapas, lâminas, compensados, aglomerados, carvão vegetal, madeira serrada, celulose e móveis. Outros produtos também podem ser obtidos, como por exemplo, óleos essenciais e mel (IPEF, 2006).

Utilizado principalmente para produção de celulose e papel, o eucalipto pode ser cortado aos 7 anos de idade, num regime que permite até 3 rotações sucessivas e econômicas, com reformas aos 21 anos. No caso de manejo de florestas para produção de madeira, a rotação pode chegar até 25 anos. Atualmente com a utilização de determinados clones para a produção de papel e celulose, por exemplo, os cortes já podem ser feitos com 5 anos de idade e realizar a reforma geral do talhão (IPEF, 2006).

Em função de estudos e investimentos em pesquisas, o eucalipto, que em 1965 produzia cerca de 10 m³/ha/ano, passou para valores de produtividade que chegam a 50 m³/ha/ano. Já é possível o uso de madeira de eucalipto para usos múltiplos e os avanços nas melhorias tecnológicas da madeira permitem ganhos em processos industriais acima de 20% (IPEF, 2006).

Dentre as espécies plantadas no Brasil, o *Eucalyptus grandis* tem como característica o crescimento rápido e a alta produtividade, enquanto que o *Eucalyptus urophylla* possui maior capacidade de rebrota, rusticidade e maior densidade da madeira. O híbrido urograndis (*E.grandis* x *E. urophylla*) tem como vantagens ser uma alternativa rápida para a produção de madeira para fins energéticos; sua madeira pode ser amplamente utilizada na propriedade rural (palanques, postes, sombreamento de pastagens entre outros), na construção civil e em serraria; possui um retorno financeiro elevado, além de reduzir a pressão sobre a extração de madeiras nativas do Cerrado (EMBRAPA, 2003).

4.3 Custo da adubação do Eucalipto

Em trabalho sobre os aspectos econômicos do emprego de fertilizantes na produção de eucalipto, Garlipp & Berger (1980) compararam o crescimento de *E. saligna* em função de diferentes níveis de adubação e analisaram o

retorno em função da produtividade, concluindo que quando em equilíbrio, os custos de adubação são compensados pelos ganhos em produtividade.

Por outro lado, existem resíduos, que pela composição química e características físicas, podem ser utilizados como suplementação ou substituição da adubação química convencional reduzindo assim, custos com adubação, transporte e deposição de resíduos, além de ser um destino mais nobre que a deposição em aterros sanitários, por exemplo (QUINTANA et al., 2011).

Em trabalho sobre a comparação de custos de implantação de eucalipto utilizando-se resíduos celulósicos, cuja metodologia foi a do custo operacional total e do custo total, concluiu-se que, por causa do elevado custo de transporte e aplicação, a adubação orgânica mostrou-se mais onerosa em relação à mineral, sendo viável economicamente apenas nas proximidades da indústria produtora (ARRUDA, et al. 2011).

O custo de implantação de um povoamento é muito variável e dependerá da tecnologia empregada e Silva et al. (2004), avaliando os custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de cerrado, Brasília-DF, chegaram em valores médios de que 13% do custo de implantação de um povoamento são devidos à adubação. Mas estes valores podem variar em função da região e das dificuldades para obter os insumos.

4.4 Importância do uso de resíduos

Embora temas como o desmatamento, código florestal, mudanças climáticas, proteção da biodiversidade, patrimônio genético e a agricultura sustentável continuem a ser prioritários, temas abordados pela agenda marrom têm grande importância, pois o lixo e o esgoto são dois dos principais problemas ambientais do país (MMA, 2012).

Com a concentração da população nas cidades brasileiras, não houve provisão em infraestrutura em serviços urbanos, principalmente saneamento básico, que inclui abastecimento de água potável, a coleta e tratamento de esgoto sanitário, a estrutura para drenagem urbana e o sistema de gestão e manejo dos resíduos sólidos (MMA, 2012), neste cenário, o lodo de esgoto advindo do tratamento de esgotos gerados pelos centros urbanos ainda é um grande problema ambiental para as poucas empresas de saneamento que o produzem. Por outro lado, apresenta um grande potencial que é pouco explorado, visto que dois terços de todo esgoto gerado no Brasil não são tratados. Em

2009, as 81 maiores cidades do país despejaram, a cada dia, 5 bilhões de litros de esgoto sem tratamento no meio ambiente (AMBIENTE BRASIL, 2011).

4.5 Lodo de Esgoto

A maioria das cidades brasileiras não apresentam rede de coleta de esgotos e/ou estações de tratamento dos mesmos. Segundo a Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, 92% da população urbana têm água encanada, 25% têm rede de coleta de esgotos, e apenas 12% possui sistemas de tratamento do esgoto. Muitas vezes, o esgoto é lançado diretamente nas coleções hídricas. Com a instalação das Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs), um novo problema ambiental é gerado: a disposição do lodo de esgoto, resíduo produzido durante o processo de tratamento das águas residuárias (PIRES, 2006).

Lodo de esgoto é o resíduo resultante dos processos gerados pelas Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) e tende a um crescimento no mínimo proporcional ao crescimento da população humana e a solução para sua disposição é medida que se impõe com urgência. A Resolução CONAMA nº380 retifica a Resolução nº 375 (2006), definindo critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados.

Lodos de esgoto apresentam variações na composição química de acordo com sua origem (domiciliar e/ou industrial), época do ano, processo de tratamento na estação, estabilização e condicionamento final, dentre outros aspectos (ANDRADE et al.,2006). O lodo bruto proveniente do processo de tratamento primário das Estações de Tratamento é obtido por sedimentação ou flotação e possui coloração acinzentada, é pegajoso, de odor ofensivo e facilmente fermentável. O lodo digerido é aquele que sofreu processo de estabilização biológica obtida por biodigestores anaeróbios ou aeróbios, com redução de SSV superior a 40%. O lodo digerido anaeróbio é de cor marrom escura. Quando bem digeridos, tanto o lodo aeróbio como o anaeróbio não possuem odor ofensivo (SANEPAR- PROSAB, 1999).

Bettiol & Camargo (2006) reforçam que a utilização do lodo de esgoto em solos agrícolas traz como principais benefícios a incorporação de macronutrientes (nitrogênio e fósforo) e micronutrientes (zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio). A adubação inorgânica e/ ou orgânica são eficientes em plantações florestais com espécies particularmente do gênero *Eucalyptus*, e o uso do lodo de esgoto (biossólido)

representa alternativa promissora, como demonstrado em plantações florestais no Brasil e no exterior (FERRAZ & POGGIANI, 2014; FARIA, 2007; FIRME, 2009; GUEDES et al, 2006; LIMA, 2005; LIRA, 2006; SILVA, 2006; TRIGUEIRO, 2002; VAZ et al, 2002; HENRY et al., 1994; POGGIANI, 2004;).

Importante ressaltar a vantagem do uso de lodo de esgoto em relação à fertilização mineral que é devida ao fato de liberar lenta e de forma contínua os nutrientes para o solo e sistema radicular das plantas ao longo dos anos (POGGIANI et al, 2000), o que o torna ainda interessante para utilização em povoamentos florestais.

Apesar da existência de trabalhos mostrando o aumento da produtividade de espécies florestais com utilização de lodo de esgoto sem que isso implique em danos maiores ao ambiente, como por exemplo em bracatinga (LOURENÇO et al. ,1999); em eucalipto (GUEDES, 2005 e FERRAZ, 2009) e em espécies nativas da Mata Atlântica (SAMPAIO, 2010), a legislação brasileira se mostra cada vez mais restritiva, limitando cada vez mais o seu uso.

O uso do lodo de esgoto em áreas de reflorestamento é uma prática que está sendo feita nos dias de hoje, pois além de ser um destino mais nobre para este tipo de resíduo, uma vez que ele é gerado e volta ao próprio sistema, funciona como um excelente fertilizante e condicionador de solos, aumentando o potencial de recuperação desses solos (LIRA, 2006; FIRME, 2009).

Para uma cidade como Jundiaí, por exemplo, isso implica na produção anual de aproximadamente, 24.000 toneladas de torta de lodo que, na melhor das possibilidades, seria destinada à um aterro sanitário (informação verbal)¹. Adotando-se que o custo de deposição por tonelada em um aterro sanitário é de oitenta reais (R\$ 80,00 por tonelada² –

1 Dados obtidos em palestra proferida dia 25 de setembro de 2012 por Fernando Carvalho Oliveira durante o Seminário de Compostagem de Lodo de Esgoto – UNESP – FCA, Botucatu/SP

2 Valores disponíveis em:

<<http://www.ultimanoticia.com.br/ultimanoticia/Portugues/detNoticia.php?cod=10723>> .

Acesso em 10 de outubro de 2012.

Considerando-se o valor de 1 dólar = R\$2,00, aproximadamente US\$ 40 por tonelada), o custo anual para destinação deste resíduo para um aterro sanitário é de R\$ 1.920.000,00 ou US\$ 960.000 (Valor da tonelada obtido via comunicação pessoal em visita técnica à aterro sanitário da Queiroz Galvão em Ipatinga-MG em 2006).

Faria (2007), utilizando o lodo de esgoto como fertilizante complementado com K e P, obteve resultados que evidenciam que este pode substituir parcialmente a adubação de base e integralmente os fertilizantes usados na adubação de cobertura de *E. grandis*, sem que houvesse redução da produtividade, recomendando a dose de 5Mg.ha⁻¹. Segundo este autor, a aplicação inviável economicamente apenas para elevadas taxas de aplicação, pois as altas taxas de umidade do material inviabilizou o transporte.

Rowell et al. (2001) estudando a decomposição e mineralização do nitrogênio de lodo de esgoto e outros materiais orgânicos, sugerem que para facilitar a sua utilização é importante prever a quantidade e taxa de mineralização de nutrientes. Os resultados indicaram que as taxas de decomposição responderam a um modelo que incorpora a proporção de carbono a matéria orgânica. Para as taxas de mineralização líquida, a melhor resposta foi prevista por um modelo que incorpora a concentração inicial de N orgânico e da proporção de C fenólico e que ambas podem ser previsíveis do processo de tratamento de esgoto empregado.

L. Wu & Q. Ma (2001) avaliaram a estabilidade de compostagem e maturação do composto em função de diferentes armazenamentos, pois são importantes parâmetros de qualidade e podem afetar a estabilidade do composto. Os resultados indicaram que o armazenamento não alterou fitotoxicidade, mas alterou as taxas de CO₂ e de germinação de sementes.

Guerrini & Villas Boas (2000) analisaram resultados práticos da aplicação de resíduos, entre eles, lodo ativado e cinzas de madeira e verificaram que dependem dos atributos químicos e físicos dos resíduos e dos solos, mas que de um modo geral, a aplicação de fertilizantes químicos, juntamente com resíduos industriais no plantio, é importante para promover um melhor crescimento inicial das árvores, especialmente quando os resíduos utilizados são ricos em matéria orgânica.

Grey & Henry (2002) avaliaram nitrogênio e fósforo lixiviados em uma microbacia com aplicação de lodo de esgoto, pois a principal preocupação do uso de lodo no noroeste dos EUA são as áreas íngremes, em função do movimento de partículas e

nutrientes solúveis para as águas durante seu escoamento. Foi aplicado lodo de esgoto a uma taxa de 13,5 Mg ha⁻¹ (700 kg N ha⁻¹ e 500 kg P ha⁻¹), ou seja, altas dosagens até para os parâmetros brasileiros, com uma amostragem após 1,5 anos. Os resultados indicaram que não houve evidência de escoamento direto de P ou N proveniente de lodo de esgoto em águas de superfície.

4.6 – Lodo de Esgoto Compostado

Historicamente, o foco da preocupação com relação ao uso do lodo de esgoto mudou e deixou de ser a concentração de metais pesados, pois vários estudos indicaram sua viabilidade, entre eles, o de Mattiazzo-Prezotto (1994). Este autor, estudando em laboratório quatro tipos de solos e dois pHs com adição de metais pesados, onde constatou que a quantidade de óxidos de ferro e alumínio foram importantes para prevenir a lixiviação e absorção pelas plantas; e Sampaio (2010), analisando o crescimento de espécies nativas, os atributos físicos do solo e a concentração de metais pesados em solo arenoso que receberam aplicação de lodo de esgoto, obteve que as maiores doses do lodo influenciaram nos teores totais e disponíveis de metais no solo, não influenciando, porém, nos teores encontrados nas plantas.

Por outro lado, o foco passou a ser a concentração de patógenos, mas vários estudos demonstraram que as altas temperaturas atingidas durante o processo de compostagem do lodo promovem sua desinfecção (ANDREOLI & BONNET, 1998; BUENO, 2001; BERTONCINI & LEITE, 2011). Dessa forma, a escolha do lodo de esgoto compostado foi feita no sentido de evitar mais esse entrave, pois as altas temperaturas atingidas durante a compostagem e as condições de temperatura e umidade favorecem sua desinfecção a fim de serem aceitos pelas normas da legislação brasileira.

Quando bem conduzida a compostagem do lodo de esgoto, sua estabilização e higienização podem proporcionar alta eficiência na eliminação de patógenos e, com isso, produzir um produto final de alta qualidade agronômica (AISSE et al., 2001), e também atender às rigorosas e restritivas normas de utilização da Resolução CONAMA n° 375/2006 (BRASIL, 2006).

A compostagem do lodo de esgoto pode ser uma alternativa viável por sua simplicidade de condução, permitindo, também, a obtenção de fertilizantes orgânicos naturais, os quais contribuem para a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, influenciando diretamente no desenvolvimento das espécies ali

plantadas (GUERRINI & MORO, 1994; ANDRADE et al., 2003; GUERRA 2007; CORRÊA et al, 2007).

A composição química do lodo de esgoto compostado apresenta teores de nutrientes que podem variar em função do material de origem e grau de decomposição, o que pode tornar-se uma alternativa promissora para plantações florestais (HENRY et al., 1994; LIMA, 2005; POGGIANI, 2004). Porém, a concentração de potássio no lodo de esgoto compostado é baixa, visto que esse elemento é altamente solúvel em água, sendo perdido no efluente líquido durante o tratamento (TSUTIYA, 2001)

Vários estudos comprovaram o uso do lodo de esgoto em povoamentos florestais, substituindo parcial ou totalmente a fertilização de cobertura. Em termos econômicos, a distância máxima que viabilizava seu uso, considerando-se os custos de deposição, monitoramento do resíduo no aterro e redução de custos com fertilização e ganhos em produtividade de madeira era de 220 km (NOLASCO et al., 2000). Mas atualmente o elevado custo de transporte e aplicação, a adubação orgânica mostrou-se mais onerosa em relação à mineral, sendo sua utilização viável, economicamente, apenas nas proximidades da indústria produtora (ARRUDA et al., 2011).

4.7 Cinzas

As cinzas são resíduos gerados nas caldeiras auxiliares de energia, com a combustão de cavacos e de carvão mineral. É uma mistura homogênea de frações de areia, moinha de carvão e cinzas. Indústrias com capacidade de produção de 1000 Mg dia⁻¹ de celulose, geram aproximadamente, 80 Mg dia⁻¹ desse resíduo. O efeito da cinza como fertilização de base e, principalmente, de cobertura é resultado de sua composição química e da solubilização lenta dos macro e micronutrientes, podendo ser grosseiramente comparada a uma fórmula NPK de relação (1:3:7) somando ao Ca, Mg e micronutrientes (NOLASCO et al, 2000).

Os solos brasileiros, em geral, são pobres em bases como o Ca e o Mg e apresentam características ácidas. A baixa fertilidade acarreta problemas de nutrição das culturas, o que leva a baixas produções (HORTA et al., 2010). Frente a isso, as cinzas podem melhorar a produção e a qualidade das culturas, mas apenas em determinadas doses. Sabendo-se de que as plantas crescem inicialmente melhor com a queima das leiras

devido à disponibilidade de nutrientes fornecidos pelas cinzas da combustão de biomassa energética para a fertilização de povoamentos florestais pode-se mostrar uma alternativa viável para disposição desse resíduo e redução de gastos com fertilizantes (MORO E GONÇALVES, 1995).

Além do arranque inicial das mudas, as cinzas também favorecem o desenvolvimento da microbiologia do solo. Essa mesma microbiologia que promoverá a decomposição da serapilheira e liberação de bioelementos para a nova floresta plantada. Como as cinzas sempre possuem um certo teor de carbono orgânico resultante da queima, esse carbono é como um tipo de carvão ativo, com alta capacidade de reter água e íons (FOELKEL, 2005).

As cinzas podem também produzir mudanças nas propriedades físicas e químicas dos solos, como por exemplo, elevação do pH, aumento do cálcio trocável, do fósforo e potássio disponíveis, além das melhores possibilidades de agregação das partículas do solo. As melhorias químicas e físicas se refletirão não apenas em ganhos ambientais, mas em ganhos de produtividade florestal (GUERRINI & MORO, 1994).

A disposição das cinzas em aterros era uma prática comum, mas atualmente, os elevados custos com transporte e disposição são contrapostos com o custo de se produzir um passivo ambiental, fato que vem alterando de forma significativa as equações financeiras de seu uso. A aplicação da cinza em conjunto com o Lodo Orgânico (Lodo Ativado ou Lodo de ETE) proveniente de fábrica de papel e celulose era uma prática utilizada com sucesso e aumentos significativos na produção de madeira por empresas florestais (NOLASCO et al., 2000), mas atualmente, com as alterações na legislação e as rigorosas restrições, apenas o uso do lodo orgânico compostado tem seu uso facilmente viabilizado.

Estudos realizados por Bellote et al. (1998) indicaram que a aplicação de cinza, juntamente com resíduo celulósico em latossolo arenoso, aumentou a taxa de decomposição de pelo menos três vezes em relação ao que receberam tratamentos de fertilização mineral apenas. A decomposição acelerada causada pela aplicação de lodo e de cinzas aumenta a fertilidade do solo e a absorção de nutrientes pela árvore, particularmente para o K e Ca. Guerrini & Moro (1994) analisaram e verificaram que o efeito na fertilidade do solo durou cerca de 2 anos (solos de textura média e arenosa). Moro & Gonçalves (1995) observaram respostas para cinzas aplicadas em *E. grandis* e que os ganhos de produtividade eram 48% maiores do que as do controle.

Apesar disso, antes de iniciar uma aplicação em larga escala de resíduos, uma análise econômica é necessário, como feita por Moro & Gonçalves (1995), que verificaram que a taxa de cinza ideal para transporte econômico a uma distância de 300 km econômico foi de cerca de 20 t ha⁻¹ para cada ciclo de colheita. Além disso, o uso indiscriminado da cinza pode causar problemas (GOMES, 1968). Levando-se em conta a importância do equilíbrio catiônico para as plantas (LOUÉ, 1978), o desbalanceamento provocado pela aplicação de doses inadequadas de cinza pode vir a ser prejudicial às culturas (RAPOSO, 1963). Segundo Ignatieff & Page (1959), doses elevadas de cinza podem prejudicar as raízes das plantas, causando-lhes até a morte, em razão da alcalinidade.

4.8 - Caracterização dos solos com resíduos pelo método Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

A dinâmica da matéria orgânica (M.O.) do lodo de esgoto após aplicação no solo merece especial atenção, uma vez que interfere no ciclo do carbono do solo (GILMOUR et al., 1996), na disponibilidade de nutrientes (FRANCO-HERNÁNDEZ et al., 2003) e de elementos potencialmente tóxicos (BERTONCINI, 2002). As substâncias húmicas (SHs) constituem o produto final da decomposição de resíduos orgânicos e representam o principal componente da matéria orgânica em água, solos e sedimentos (PINHEIRO et al, 2010) .

As diferentes frações de carbono orgânico humificado do solo apresentam características químicas, físicas e morfológicas distintas, e a distribuição dessas frações pode indicar a qualidade da Matéria Orgânica do Solo - MOS (LIMA, 2004). Os ácidos húmicos (AHs), constituintes das substâncias húmicas - SHs, são compostos estáveis, ou seja, de difícil degradação (Stevenson, 1994). Esses compostos interagem com o meio circundante, interferindo nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (CANELLAS, 1999). São, portanto, um sinalizador natural do processo de humificação e refletem tanto a condição de gênese como a de manejo do solo (ZECH et al., 1997).

Substâncias húmicas (SH) são misturas complexas e heterogêneas de materiais polidisperso formadas em solos, sedimentos e águas naturais por meio de reações químicas e bioquímicas durante a decomposição e transformação de restos de plantas e microrganismos (um processo chamado de humificação). Lignina de plantas e

seus produtos de transformação, polissacarídeos, melanina, cutina, proteínas, lipídios, ácidos nucleicos, finas partículas de carvão animal etc., são componentes importantes que participam neste processo. As SHs estão envolvidas em muitos processos em solos e águas naturais: por exemplo, no intemperismo do solo, na nutrição de plantas, pH, mobilidade de metais-traço e toxicidade, biodisponibilidade, degradação e transporte de produtos químicos orgânicos hidrofóbicos, a formação de subprodutos da desinfecção durante o tratamento da água, e produção de heterotróficos em ecossistemas de águas pretas. Assim, as substâncias húmicas têm recebido atenção dos cientistas em uma ampla variedade de disciplinas (IHSS, 2012).

Por apresentarem alta complexidade química e forte interação com a fração coloidal inorgânica do solo, essas substâncias decompõem-se lentamente e acumulam-se nos solos. Dentre as várias possibilidades, encontra-se desde a clássica teoria que considera que são formadas a partir da lignina modificada até a teoria mais aceita na atualidade, a chamada de rota dos polifenóis. As rotas que envolvem a síntese das SHs a partir da condensação de polifenóis e compostos aminados são as mais aceitas atualmente. (SILVA et al 2007, apud PRIMO et al, 2011). As SHs exercem influência amplamente reconhecida nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo e, conseqüentemente, no crescimento das plantas

A espectroscopia de infravermelhos (IV) baseia-se na observação de que as ligações químicas apresentam frequências específicas às quais vibram, a níveis de energia bem definidos. Estas frequências de vibração, ou frequência de ressonância, são determinadas pela forma da molécula, pelos seus níveis de energia e pela massa de átomos que a constituem. As frequências de ressonância de uma ligação química estão relacionadas, numa primeira aproximação, com a força da ligação e a massa dos átomos em cada extremidade. Deste modo, cada frequência pode ser associada a um tipo específico de ligação química e para que um modo vibracional seja ativo no IV, necessita estar associada a variações do momento dipolar da molécula (PAIVA, 2006).

A espectroscopia na região do infravermelho (IV) é uma técnica importante para análises orgânicas qualitativas, sendo amplamente utilizada nas áreas de química de produtos naturais, síntese e transformações orgânicas. O infravermelho e demais métodos espectroscópicos modernos como a ressonância magnética nuclear (RMN), espectroscopia na região do ultravioleta-visível (UV-VIS) e espectrometria de massas (EM) constituem hoje os principais recursos para a identificação e elucidação

estrutural de substâncias orgânicas. São, também, de alta relevância na determinação da pureza e quantificação de substâncias orgânicas, bem como no controle e acompanhamento de reações e processos de separação. A espectroscopia na região do infravermelho tem sido amplamente utilizada em linhas de produção, no controle de processos industriais (LOPES & FASCIO, 2004).

Os princípios da espectroscopia de absorção na região do infravermelho (IV) são os mesmos da espectroscopia na região do ultravioleta-visível, exceto que, na região do IV a quantidade de energia é suficiente para provocar somente movimentos vibracionais nas ligações entre os átomos. Diferentemente das poucas bandas de absorção observadas na região do ultravioleta visível para substâncias húmicas, o espectro de infravermelho fornece maior quantidade de bandas de absorção e mais bem definidas (PRIMO et al, 2011).

Algumas dessas bandas não podem ser interpretadas com segurança. Isso é o caso das SH. A recomendação para o caso de material húmico é o uso do modo comparativo, ou seja, sempre confrontar um espectro contra outro gerando mais informações sobre processos ocorridos no material do que sobre determinação estrutural.

A radiação infravermelha distante, assim chamada, pela alta energia, é absorvida por moléculas orgânicas e a energia é convertida em rotação molecular. Esta absorção é quantizada e, assim, os sinais de absorção são linhas discretas. Por outro lado, a radiação infravermelha de mais baixa energia, ou IV próximo, é também absorvida pelas moléculas orgânicas, mas é transformada em vibração. Estas absorções também são quantizadas, mas os espectros vibracionais apresentam-se como uma série de bandas mais largas, pois uma única mudança de nível vibracional é acompanhada de várias mudanças na energia rotacional. Há dois modos fundamentais de vibração das moléculas: o estiramento, onde a distância entre dois átomos da molécula aumenta ou diminui, mas os átomos permanecem no mesmo eixo de ligação, e as deformações, em que a posição do átomo muda em relação ao eixo original da ligação (CANELLAS, 2005).

O espectro de infravermelho consiste na representação gráfica da correlação entre a intensidade de absorbância (A) ou transmitância (T) e a energia da radiação de IV, expressa em número de ondas. A aplicação dessa técnica na análise de substâncias húmicas é relativamente comum e pode ser aplicada em amostras sólidas, líquidas e gasosas. A restrição quanto à aplicação mais abrangente em substâncias húmicas está relacionada com a complexidade do espectro e com o baixo grau de pureza das

amostras analisadas. Os espectros na região de IV de ácidos húmicos são relativamente simples quando comparados aos de substâncias puras, possuindo poucas bandas de absorção e geralmente alargadas (CANELLAS & SANTOS 2005, apud PRIMO et al., 2011).

4.9 –Degradabilidade de carga orgânica do lodo de esgoto

A origem e o processo de obtenção determinam a composição química do lodo de esgoto e sua degradação é influenciada diretamente pelo solo e pelo clima (AJWA & TABATABAI, 1994 apud ANDRADE et al. 2006). A matéria orgânica, sólidos em suspensão e nitratos são as formas que os esgotos domésticos contribuem para a poluição das águas. Com isso, a taxa de degradação de um lodo de esgoto é dependente diretamente do pH, composição química, teor de C e fração orgânica (ANDRADE et al., 2006).

A matéria orgânica é composta basicamente de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, fósforo, enxofre e outros elementos em menor proporção, porém essenciais para a ocorrência dos processos biológicos de estabilização desse material. Na biodegradação de aminoácidos e proteínas (matéria orgânica nitrogenada) em processos biológicos de tratamento de esgotos ocorre a conversão destes em compostos mais simples como amônia, nitrato, nitrito e nitrogênio molecular. Este mecanismo é efetuado em etapas distintas por grupos diferentes de microorganismos (GUIMARÃES & NOUR, 2001).

A qualidade do material introduzido, a composição da matéria orgânica e a abundância de seus compostos orgânicos (carboidratos, lipídios, aminoácidos, lignina etc.) determina parcialmente sua taxa de degradação após aplicação no campo (HATTORI & MUKAI, 1986).

Quando o solo é usado para depurar os resíduos orgânicos é importante avaliar o tempo necessário para reduzir o carbono orgânico adicionado a um nível aceitável. Esses estudos podem ser efetuados por meio de ensaios de respirometria onde os resíduos são submetidos a um processo de biodegradação controlada e medidas as taxas de produção de CO₂. Dados de evolução do CO₂ e o tempo de incubação podem então ser ajustados a um modelo cinético, o qual serão utilizados para prever como os resíduos serão decompostos em condições de campo (REDDY et al. 1986).

A taxa de degradação de resíduos orgânicos, em geral, tem sido determinada sob condições controladas de temperatura e umidade, em que amostras de solo + resíduo e somente solo (controle) são incubados por períodos variáveis de 60 a 90 dias, medindo-se periodicamente a quantidade de carbono emanada na forma de CO₂ (C-CO₂). A diferença de C-CO₂ emanada entre a mistura solo + resíduo e o controle é atribuída à degradação dos compostos orgânicos presentes no material aplicado e, com esse valor, calcula-se a taxa de degradação em relação a quantidade de carbono adicionada inicialmente. A taxa de degradação é uma estimativa do balanço entre o aporte de C via lodo e a degradação (ANDRADE et al., 2006).

Mattiazzo et al. (1998), avaliando a degradação de resíduos em solos em um período de 60 dias de incubação em vaso, obteve que as taxas de degradação de torta de filtro, resíduos urbanos compostados e lodo de esgoto não diferiram uns dos outros, nem foram afetados pela textura do solo. Apenas os resíduos de indústria petroquímica foram menos decompostos e o processo foi influenciado pela textura do solo.

O ciclo do carbono no solo é bastante complexo, pois, ao mesmo tempo em que degradam carboidratos complexos, os microorganismos sintetizam corpos do mesmo tipo e seus demais constituintes celulares, dificultando a separação entre os compostos intermediários da degradação e os da síntese (PULROLNIK, 2009). Parte do carbono orgânico (CO) metabolizado pelos micróbios é incorporado em suas células e parte é evoluído como o CO₂ (BRADY & WEIL, 2002). C orgânico mineralizado em solos tratados com lodo de esgoto é muito variável (HUANG & CHEN, 2009)

A relação C:N, baseada nos modelos atuais, deve reduzir em função da densidade da matéria orgânica, pois durante a decomposição o C orgânico é oxidado por microorganismos heterotróficos, enquanto o N é relativamente conservado na biomassa microbiana devido de N demandado (sua biomassa tem uma baixa relação C: N de biomassa vegetal) (WAGAI et al., 2009).

Guedes et al. (2006) descrevem o processo da maior taxa de decomposição da matéria orgânica do solo após adição de material orgânico fresco como sendo atribuída ao incremento da atividade dos microorganismos, em função da disponibilidade de substrato energético. No entanto, Fontaine et al. (2003), após uma análise teórica dos resultados contraditórios encontrados na literatura, atentam para o fato de ser o mecanismo do efeito “priming” muito mais complexo do que comumente se acredita. Efeito “priming” é definido como uma mudança de curta duração nos valores de

matéria orgânica do solo causada pelos tratamentos (geralmente pela adição de C orgânico) do solo (KUZYAKOV et al, 2000). Estudos mais recentes de BLAGODATSKAYA & KUZYAKOV (2008) relatam sobre o aumento de estudos sobre os efeitos priming (PE) em solo e sobre seus efeitos reais e aparentes bem como seus mecanismos e funções. Conclui-se que o PE não envolve apenas um processo ou mecanismo, mas de uma sucessão de eventos ligados pela sucessão de comunidades microbianas e funções, afetando diretamente a disponibilidade de C e N.

4.10 – Mineralização de N e P

O nitrogênio é um elemento que agrega valor a lodos de esgoto por ser essencial às plantas, mas também é o fator que limita as dosagens devido aos riscos potenciais de contaminação de águas subsuperficiais por lixiviação de nitrato. Este parâmetro, N potencialmente disponível, é obtido conhecendo-se a fração de mineralização do N orgânico contido no lodo de esgoto e o teor de N mineral do mesmo. O teor de N orgânico (quantidade de N em formas orgânicas) no lodo de esgoto é obtido por diferença entre o teor de N total (soma das quantidades de N em formas orgânicas e em formas minerais) e o teor de N mineral (quantidade de N em formas minerais: NH_4 , NO_3 , NO_2 no resíduo). A fração de mineralização do N orgânico é obtida experimentalmente. O lodo de esgoto “in natura” apresenta teor de N superior ao compostado, pois grande parte é perdida durante o processo de compostagem e secagem. O elevado teor de água, que pode chegar a 500% (à base de massa seca), pode ser fonte de grande variabilidade nas análises laboratoriais (BOEIRA & MAXIMILIANO, 2006).

Andrade et al. (2006), avaliando a cinética de degradação da matéria orgânica de lodo de esgoto 70 dias após aplicação em solo, concluíram que a degradação da fração orgânica dos resíduos variou em torno de 5 a 22%, determinada através da quantificação do CO_2 emanado após a incubação de misturas das amostras do experimento com um Latossolo, com dose dos resíduos correspondente a 40 t ha^{-1} .

A proteína bruta, expressa como porcentagem do conteúdo orgânico dos resíduos, foi o parâmetro que melhor correlacionou com a taxa de degradação sendo promissora sua utilização na previsão da taxa de degradação da M.O. de lodo de esgoto. A participação do compartimento protéico foi crescente com o tempo de incubação, comprovando que no início do período de avaliação outros compostos orgânicos mais

lábeis funcionaram como fonte de carbono e de energia para a microbiota edáfica (ANDRADE et al., 2006).

Em geral, a origem do P dos fertilizantes são as rochas fosfatadas que são fontes não renováveis. Devido a um aumento significativo no preço do fosfato de rocha ao longo dos últimos anos e a necessidade de economizar recursos, uma nova opção pode ser encontrada na utilização de lodo de esgoto, pois podem ser uma fonte importante de fosfato (Zuba Junio, 2011).

Huang e Chen (2009), estudando a taxa de mineralização de carbono e do nitrogênio do composto de lodo de esgoto em solos com pH iniciais diferentes, observaram que as propriedades do solo podem afetar a decomposição de materiais orgânicos, indicando os maiores valores de dióxido de carbono 3 dias após a incubação. O solo com baixo pH (pH 4,8) apresentou inibição da atividade microbiana. E em função dos resultados obtidos, observaram que o pH inicial do solo afeta diretamente as taxas de amonificação, dos teores de carbono, a decomposição e a nitrificação do solo. Whalen et al. (2001) analisando o potencial de mineralização de N e P em solos que receberam repetidas aplicações de esterco bovino, observaram que a longo prazo houve aumento na proporção de N e P potencialmente mineralizável nos solos, indicando que estudos com esses elementos poderiam ajudar a minimizar exportação de nutrientes e poluição ambiental de solos.

Kamewada (2007) estudando a distribuição vertical da atividade de desnitrificação em campo de terra firme e de sua relação com o carbono orgânico dissolvido obteve que a aplicação de M.O. aumentou o teor de carbono orgânico e os valores na camada arável do solo, no entanto, as propriedades da matéria orgânica aplicada não influenciaram teores de carbono orgânico no subsolo. Além das investigações confirmarem a desnitrificação da subsuperfície e não diminuir substancialmente a concentração de nitratos durante a infiltração .

Da Cas (2009) avaliou a mineralização do carbono e a dinâmica do nitrogênio durante a decomposição de lodo de esgoto e palha de aveia mantidos na superfície e incorporados ao solo. Os tratamentos consistiram da aplicação de lodo de esgoto, na presença e na ausência de palha de aveia, com e sem incorporação ao solo. A mineralização do C e do N não foi afetada pela incorporação do lodo ao solo e no tratamento com o uso isolado do lodo de esgoto, 30% do C e 50% do N adicionados com o lodo, foram mineralizados em 110 dias. A aplicação de lodo de esgoto juntamente com a

palha de aveia aumentou a mineralização do C da palha somente quando os materiais orgânicos permaneceram na superfície do solo. A imobilização do N não foi afetada pela incorporação conjunta do lodo de esgoto e da palha de aveia ao solo, mas foi estimulada na presença da palha.

5. MATERIAL E METODOS

5.1 Localização do Experimento

O experimento foi instalado em estufa pertencente ao Departamento de Solos e Recursos Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Botucatu, conforme pode ser observado na Figura 1. Foi conduzido no período de dezembro de 2010 a julho de 2011.



Figura 1 – Visão geral do experimento aos 3 meses de instalação

5.2 Características do clima

O clima de Botucatu é do tipo Cwa, segundo a classificação internacional de Koppen (CUNHA et al., 1999), que significa clima temperado quente, com chuvas no verão e seca no inverno, temperatura média do mês mais frio inferior a 17

°C e do mês mais quente superior a 23 °C, com precipitação pluviométrica média anual de 1533,2 mm.

A Figura 2 apresenta respectivamente, as variações diárias de temperatura durante o período de condução do experimento.

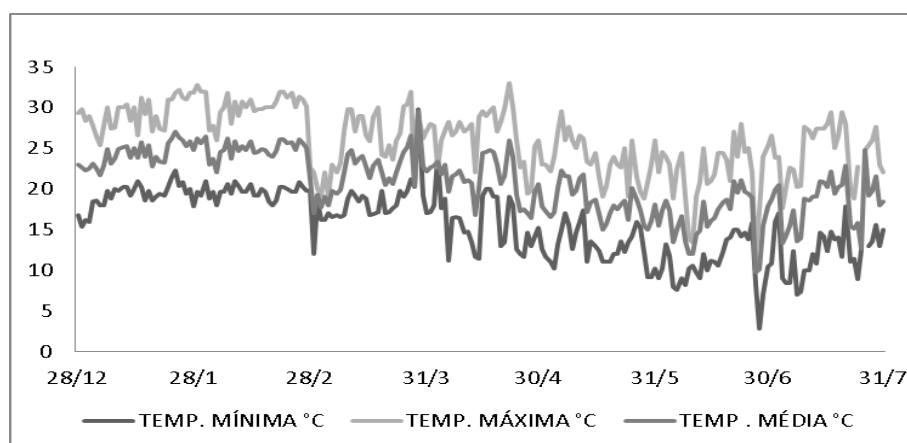


Figura 2 – Variação de temperatura (°C) durante condução do experimento

5.3 Características da espécie

A espécie utilizada foi um híbrido urograndis (*E.grandis* x *E. urophylla*) doados pelo Viveiro de Mudas da Faculdade de Ciências Agronômicas- Unesp – Botucatu. É um clone que tem se mostrado bastante adaptado à região de Botucatu, e apresenta alta produtividade, resistência à ferrugem (*Puccinia psidii* Winter) e tolerância ao déficit hídrico. As mudas foram plantadas no final do mês de dezembro de 2010.

5.4 Caracterização do solo

Foi utilizado um Latossolo Vermelho (LV) de textura média, coletado na camada de 0 - 20 cm em área da Fazenda Experimental Lageado.

As análises químicas foram realizadas conforme a metodologia proposta por Raij et al. (2001), e os resultados estão nas Tabelas 1 e 2, enquanto que a análise granulométrica (Tabela 3) foi realizada de acordo com metodologia proposta por Quaggio et al. (1994).

Tabela 1- Características químicas das amostras de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.

pH	M.O.	Presina	Al ⁺³	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol _c /dm ³ -----							
4,0	26	8	15	74	0,2	2	1	3	76	3

Tabela 2- Características químicas (micronutrientes) das amostras de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.

Boro	Cobre	Ferro	Manganês	Zinco
----- mg/dm ³ -----				
0,25	1,0	39	0,4	0,1

Tabela 3- Análises granulométricas de solo (LV) na profundidade 0-20 cm.

Areia Total	Argila	Silte	Textura do Solo
----- g/kg -----			
655	289	56	Média

5.5 Caracterização dos resíduos

5.5.1 Lodo de Esgoto – Processo de obtenção e compostagem

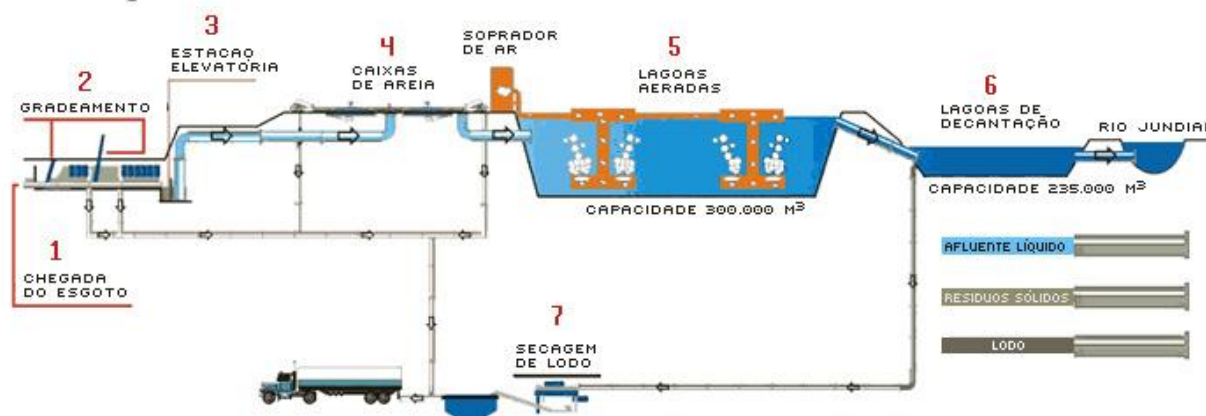
O composto de lodo de esgoto utilizado foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da cidade de Jundiaí-SP, que atualmente gera, em média, 2.000 toneladas mês de torta de lodo de esgoto com 20% de teor de sólidos. O processamento deste lodo na compostagem, junto com outros materiais orgânicos que recebem de fora da ETE, resulta em 1600 a 2000 toneladas mês de composto orgânico com 60% de teor de sólidos (Fernando Carvalho Oliveira, 2012 – comunicação pessoal via e-mail).

A ETE Jundiaí foi construída na concepção de Lagoas Aeradas de Mistura Completa Seguida de Lagoas de Decantação, que garante a oxigenação e mantém os sólidos em suspensão dispersos no líquido. É um sistema que exige manutenção

simples, porém há consumo de energia elétrica e que, entre suas vantagens, requer menor área entre todos os sistemas de lagoas. Por ser aerada, há produção de lodo biológico que deve ser removido antes do efluente ser lançado no corpo receptor; para isso utiliza-se, na sequência, a lagoa para retenção e digestão desses sólidos (lagoa de decantação).

Os esgotos chegam à ETE por um emissário (15 Km) de 2 m de diâmetro e são recebidos no sistema de gradeamento. Após gradeamento o esgoto vai para um poço com bombas elevatórias onde se regulariza a vazão de entrada nas lagoas de aeração. Após o poço da elevatória, o esgoto passa pelas caixas de areia para retenção da areia e em seguida vão para as lagoas de aeração. Nas lagoas de aeração o esgoto fica por 4 dias e onde se forma o floco biológico e, em seguida, vai para as lagoas de sedimentação. O floco biológico sedimenta nestas lagoas e depois é dragado para o sistema de desaguamento por decanters centrífugos (Figura 3).

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUNDIAÍ



1. CHEGADA DO ESGOTO

O ESGOTO COLETADO DA CIDADE CHEGA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DE JUNDIAÍ (ETEJ), DEPOIS DE PERCORRER APROXIMADAMENTE 14KM DE INTERCEPTOR, O QUAL TERMINA NA ETEJ COM UM DIÂMETRO DE 2 METROS.

2. GRADEAMENTO

NESTA ETAPA, EXISTEM 2 NÍVEIS PARA CONTENÇÃO DE SÓLIDOS AFLUENTES À ETEJ, SENDO UM PARA REMOÇÃO DE SÓLIDOS MAIORES E OUTROS PARA REMOVER SÓLIDOS MENORES COMO PLÁSTICOS, PANOS E MAÇO DE CIGARRO.

3. ESTAÇÃO ELEVATORIA

BOMBAS SUBMERSAS ELEVAM O ESGOTO ATÉ O TRATAMENTO. OS VOLUMES SÃO MEDIDOS NA SAÍDA DA ELEVATÓRIA

4. CAIXAS DE AREIA

RETIRADA DA AREIA TRAZIDA COM O ESGOTO.

5. LAGOAS AERADAS

ÉSTA É A ETAPA MAIS IMPORTANTE DO TRATAMENTO. NELAS, O ESGOTO RECEBE MUITO OXIGÊNIO, ATRAVÉS DE MÁQUINAS QUE SOPRAM MÍNUSCULAS BOLHAS DE AR, PROCESSO PARECIDO COM O DO AERADOR DE AQUÁRIO. A AERAÇÃO É UM MÉTODO NATURAL DE TRATAMENTO DE ESGOTO, EM QUE BACTÉRIAS AJUDAM A LIMPAR A ÁGUA.

6. LAGOAS DE DECANTAÇÃO

NESTA ETAPA FINAL, O LODO JÁ INERTE PELA AÇÃO DAS BACTÉRIAS DEPOSITA-SE NO FUNDO DAS LAGOAS. O ESGOTO TRATADO SEM A MAIOR PARTE DA POLUIÇÃO COM QUE CHEGOU À ETEJ, PODE SER LANÇADO NO RIO JUNDIAÍ, JÁ SEM CAUSAR DANOS AO MEIO AMBIENTE.

7. SECAGEM DO LODO

O LODO DEPOSITADO NO FUNDO DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO É DRAGADO, HOMOGENEIZADO E, EM SEGUIDA, O LODO É DESIDRATADO E ESTABILIZADO ANTES DE SER TRANSPORTADO POR CAMINHÕES ESPECIAIS.

Figura 3 - Esquema do processo de obtenção do lodo na ETE Jundiaí – Retirado do site da CSJ -Cia Saneamento de Jundiaí. Disponível no seguinte link: http://www.saneamento.com.br/trat_processo.htm

O lodo, após desaguamento, segue para galpão coberto de cerca de 25.400 m², onde é submetido à compostagem pelo sistema de leiras revolvidas (sistema windrow), conforme Figura 4.

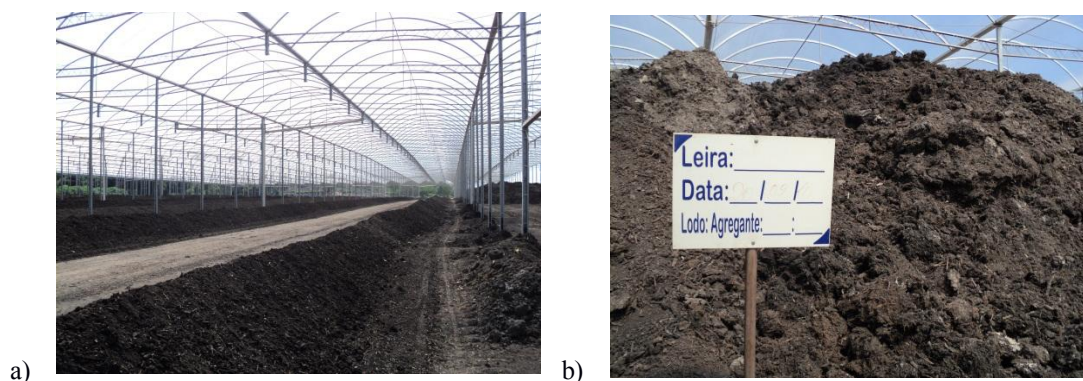


Figura 4 - Visão geral das leiras de compostagem (a); Leira utilizada para coleta do lodo de esgoto na ETE de Jundiaí (b)

Na compostagem do lodo, utiliza-se materiais celulósicos diversos provenientes de podas urbanas trituradas, bagaço de cana, massa residual de celulose de fábrica de papel entre outros produtos. A ETEJ também recebe pequenas quantidades de lodo de agroindústrias. A massa de composto fica exposta a temperaturas acima de 55°C por mais de 30 dias.

Na Figura 4 pode-se observar uma visão geral das pilhas do lodo compostado, de onde foi coletado para condução do experimento. Em função do processo de obtenção do lodo, é classificado pela Resolução CONAMA nº 375/2006 (BRASIL, 2006), como Classe A (Com concentrações de: Coliformes Termotolerantes 10^3 NMP/g de ST; Ovos viáveis de helmintos $0,25$ ovo/g de ST; *Salmonella* ausência em 10 g de ST; Vírus $0,25$ UFF ou UFP / g de ST. Sendo, ST= Sólidos Totais; NMP= Número Mais Provável; UFF= Unidade Formadora de Foco; UFP= Unidade Formadora de Placa). Os resultados da sua caracterização química, realizados pelo Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais estão dispostos na Tabela 5, enquanto os resultados do lodo antes da compostagem estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4–Análise química do lodo de esgoto utilizado para produção do composto orgânico de lodo e das cinzas feita pelo Laboratório de Fertilizantes e Resíduos – Centro de P&D de Solos e Recursos Ambientais do Instituto Agronômico de Campinas – IAC. Identificação da Amostra : FSG-RES-020 – ver.01- Apr.30/09/2010. QS 1015/2010

	<u>N</u> amoniacal	<u>N</u> nitrato- nitrito	<u>Al</u>	<u>As</u>	<u>B</u>	<u>Cd</u>	<u>Pb</u>	<u>Cu</u>	<u>Cr</u>	<u>CTC</u> mmol/kg
	----- mg/kg -----									
Lodo	1678	43,8	16610	<1,0 ⁽²⁾	5,1	4,0	61,2	192	251	315
Cinzas	---	----	---	<4,6	--	<1,5	61,83	65,6	56,7	----

	<u>pH</u> (água 1:10)	<u>Umidade</u> 60-65°C	<u>Sólidos</u> <u>Totais</u>	<u>Sólidos</u> <u>voláteis</u>	<u>C</u> <u>orgânico</u>	<u>N</u> <u>Kjeldahl</u>	<u>Ca</u>	<u>S</u>	<u>P</u>	<u>Mg</u>
	----- % (m/m) -----									
	----- g/kg -----									
Lodo	7,7	48,3	51,7	40,4	205	17,1	25,3	24,3	5,8	3,1
Cinzas	11,7	32,38	67,6	----	----	----	64,6	---	1,6	10,2

	<u>Fe</u>	<u>Mn</u>	<u>Hg</u>	<u>Mo</u>	<u>Ni</u>	<u>Se</u>	<u>Zn</u>	<u>K</u>	<u>Na</u>	<u>Ba</u>
	----- mg/kg -----									
Lodo	19527	211	<1,0 ⁽²⁾	4,1	36,8	<1,0 ⁽²⁾	1488	1582	4042	400
Cinzas	----	----	<0,04	-----	37,8	<1,7	652,5	36290	20803	376

Obs: Métodos de Ensaio: Metais: US-EPA, SW-846, método 3051, com determinação por fotômetro de chama para Na e K, para os demais metais determinação por ICP-AES. Para Nitrogênio total: Método Kjeldahl; Para Nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito: destilação por arraste a vapor; para Carbono orgânico: digestão com dicromato e determinação volumétrica; para Umidade e Sólidos voláteis: perda de massa a 60 e 500°C, respectivamente; para pH, determinação em extrato aquoso na proporção 1:10 (resíduo:água), segundo métodos descrito em “de Andrade, J.C.; de Abreu, M.F. (editores), Análise Química de Resíduos Sólidos para Monitoramento e Estudos Agroambientais, Editora IAC, Campinas, 2006, 178p,

Tabela 5- Características químicas das cinzas e do lodo de esgoto compostado.

Características	Lodo de Esgoto Compostado	Cinzas de caldeira
	----- % ao natural -----	
N	1,03	0,16
P ₂ O ₅	0,84	0,36
K ₂ O	0,16	2,12
Ca	0,63	5,76
Mg	0,24	0,82
S	2,15	4,07
U (65%)	43,50	25,60
M.O.	22,23	13,32
C	12,35	7,40
	mg/kg ao natural	
Na	775	8081
Cu	133	89
Fe	1169	15355
Mn	193	1302
Zn	832	744
C/N	12/1	46/1
pH	6,66	12,09

Análises realizadas no Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA- Botucatu/SP de acordo com metodologia proposta em: “Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos” Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – IN SDA 28 de 31/07/2007, publicada no Diário Oficial da União em 31/07/2007-Sec 1 pg 1

5.5.2 Cinzas de caldeira

As cinzas de caldeira, resíduo proveniente da combustão de madeira e casca para geração de energia nas caldeiras de biomassa, foram doadas pela Cia Suzano de Papel e Celulose. A Figura 5 apresenta os “bags” onde as cinzas de caldeiras são transportadas e de onde foram coletadas para condução do experimento. Sua caracterização química foi feita pelo Laboratório do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA e pode ser observada na Tabela 5.



Figura 5- Bags contendo cinzas de caldeira

5.6 Instalação do experimento

Foram utilizados tambores plásticos de 60 litros devidamente identificados e preenchidos com 50 litros de solo e os seus respectivos tratamentos. Os vasos foram irrigados diariamente a fim de manter a umidade do solo, baseados na capacidade de campo.

5.7 Definição dos tratamentos e delineamento experimental

A dosagem dos tratamentos com resíduos foram definidos baseados em experimentos já realizados por empresas florestais que se utilizam da aplicação de resíduos na região de Botucatu. No tratamento com dose convencional de NPK + calcário, foi aplicado 80 mg/L de N da forma de sulfato de amônio, 150 mg/L de P na forma de super fosfato triplo e 80 mg/L de K na forma de cloreto de potássio. A necessidade de calagem para o solo foi calculada pela fórmula: $NC = 10[20 - (Ca + Mg)] / PRNT$. Sendo o PRNT do calcário de 91, a NC calculada para o Latossolo foi de $1,86 \text{ Mg} \cdot \text{ha}^{-1}$.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, no esquema fatorial $3 \times 4 + 1$, com 13 tratamentos e 5 repetições.

Dessa forma, com base nos resultados das análises químicas obtidos nas Tabelas 1, 2 e 4, calculou-se a quantidade de nutrientes fornecida em cada tratamento. Os resultados da quantidade de nutrientes fornecida em função das doses por hectare pode ser observada na Tabela 6. Os tratamentos utilizados foram os seguintes (doses em base úmida):

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| 1) Testemunha (sem lodo ou cinzas) | 8) 10 Mg L.E.C.+ 15 Mg Cinzas |
| 2) Sem lodo + 5 Mg Cinzas | 9) 20 Mg L.E.C.+ 0 Mg Cinzas |
| 3) Sem lodo + 10 Mg Cinzas | 10) 20 Mg L.E.C.+ 5 Mg Cinzas |
| 4) Sem lodo + 15 Mg Cinzas | 11) 20 Mg L.E.C.+ 10 Mg Cinzas |
| 5) 10 Mg L.E.C. + 0 Mg Cinzas | 12) 20 Mg L.E.C.+ 15 Mg Cinzas |
| 6) 10 Mg L.E.C.+ 5 Mg Cinzas | 13) Adubação inorgânica + calagem |
| 7) 10 Mg L.E.C.+ 10 Mg Cinzas | |

5.8 Avaliações mensais

Os parâmetros avaliados mensalmente foram o crescimento em diâmetro e a altura. As medições de altura das plantas foram feitas com régua graduada e as medições de diâmetro do colo com auxílio do paquímetro digital a 2 cm acima da superfície do solo.

5.9 Leituras Clorofilômetro

Ao final do mês de junho, utilizando-se o clorofilômetro Minolta, modelo SPAD-502, foram realizadas medições da intensidade de cor verde (ICV) das folhas diagnóstico (folhas recém maduras situadas no terço médio superior da planta), nos quatro pontos cardeais da planta, nos dois lados de cada folha, em 16 folhas.

5.10 Análise química foliar

As mesmas folhas utilizadas na medição do teor de clorofila foram retiradas, pesadas, lavadas (em solução de detergente, enxaguadas em água corrente e posteriormente enxaguadas com água destilada), secas em estufa a 60°C, moídas em moinho tipo Willey e encaminhadas para análise química. Da matéria seca destas folhas diagnóstico, foram determinados os macronutrientes e os micronutrientes, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).

Tabela 6- Quantidade de nutrientes (kg.ha⁻¹) fornecidos por cada tratamento. Valores calculados com base nos resultados das Tabelas 1, 2 e 4.

		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S
T1	Lodo0_Cinza0	4,85	16	7,6	80	24	---
T2	Lodo0_Cinza5	8	18	106	288	41	204
T3	Lodo0_Cinza10	16	36	212	576	82	408
T4	Lodo0_Cinza15	24	54	318	864	123	612
T5	Lodo10_Cinza0	103	84	16	63	24	215
T6	Lodo10_Cinza5	111	102	122	351	65	419
T7	Lodo10_Cinza10	119	120	228	639	106	623
T8	Lodo10_Cinza15	127	138	334	927	147	827
T9	Lodo20_Cinza0	206	168	32	126	48	430
T10	Lodo20_Cinza5	214	186	138	414	89	634
T11	Lodo20_Cinza10	222	204	244	702	130	838
T12	Lodo20_Cinza15	230	222	350	990	171	1042
T 13	Calagem + NPK	160	300	160	479	168	---
		C	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
		----- g.ha ⁻¹ -----					
T1	Lodo0_Cinza0	57	---	2	78	0,8	0,2
T2	Lodo0_Cinza5	370	40	0	77	7	4
T3	Lodo0_Cinza10	740	80	0	154	14	8
T4	Lodo0_Cinza15	1110	120	0	231	21	12
T5	Lodo10_Cinza0	1235	8	1	12	2	8
T6	Lodo10_Cinza5	1605	48	1	89	9	12
T7	Lodo10_Cinza10	1975	88	1	166	16	16
T8	Lodo10_Cinza15	2345	128	1	243	23	20
T9	Lodo20_Cinza0	2470	16	2	24	4	16
T10	Lodo20_Cinza5	2840	56	2	101	11	20
T11	Lodo20_Cinza10	3210	96	2	178	18	24
T12	Lodo20_Cinza15	3580	136	2	255	25	28
T13	Calagem + NPK	---	---	---	---	---	---

5.11 Medição de área foliar

Ao final do experimento, as demais folhas foram coletadas, identificadas, pesadas e medida sua área foliar com o auxílio do Area Meter Li-cor, modelo LI-3100. Posteriormente, as folhas foram secas em estufa a 60°C até atingirem massa constante, sendo posteriormente pesadas.

5.12 Análise química da planta

As folhas, galhos, troncos e raízes também foram coletados, identificados, pesados, secos em estufa a 60°C até atingirem massa constante, moídos em moinho tipo Willey e encaminhados para análise química. Da matéria seca dos galhos, troncos e raízes foram determinados os macro e micronutrientes, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997). E com os dados obtidos de massa seca, obteve-se os resultados dos acúmulos dos nutrientes nas diversas partes das plantas.

5.13 Caracterização das substâncias húmicas

Amostras de solos de cada tratamento deste experimento foram tratadas para extração das substâncias húmicas. Posteriormente os ácidos húmicos, que representam a fração mais estável e humificada do material orgânico, foram separados, purificados e submetidos às análises de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier.

Com auxílio da bolsa fornecida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), através do Programa de Doutorado no Brasil com Estágio no Exterior (PDEE), a caracterização das substâncias húmicas do solo dos diversos tratamentos foram realizadas no Istituto de Chimica Agraria, Università di Bari, Bari, Itália, sob orientação do Dr. Nicola Senesi.

Os métodos empregados estão descritos a seguir.

5.13.1 Extração e fracionamento das substâncias húmicas dos solos

Os ácidos húmicos (AHs) utilizados neste experimento foram isolados de acordo com a técnica de extração, fracionamento e purificação recomendada pela International Humic Substances Society (IHSS) (Schnitzer, 1982).

5.13.2 Purificação dos ácidos húmicos

Os ácidos húmicos passaram por um processo de purificação branda, com a finalidade de eliminar possíveis impurezas minerais, dissolvendo-se em 50 mL da solução extratora, agitados por 3 h em agitador circular e centrifugados a 6000 rpm durante 20 min. O sobrenadante foi recolhido e novamente acidificado com HCl concentrado até pH 1,0, e deixados em repouso por 12 h. O material precipitado (impurezas) foi descartado. Foi realizada a centrifugação e repetido novamente o processo à partir da dissolução dos ácidos húmicos na solução extratora.

Foram, então, realizadas três lavagens com 30 mL de água bidestilada, acidulada com HCl até pH 3,0, agitação manual e centrifugação. Os ácidos húmicos foram dissolvidos em 100 mL de água bidestilada, agitados durante duas horas e transferidos para membrana semipermeável (Spectrapor membrane, cut off 6-8000 MWCO), e posterior diálise durante quatro a cinco dias, com o propósito de eliminação de íons, principalmente o cloreto. Após a diálise, foram congelados e liofilizados.

5.13.3 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR)

As amostras de AHs foram preparadas para as análises de FT-IR, utilizando-se a técnica da pastilha de KBr anidro. As pastilha obtidas foram analisadas utilizando um espectrofotômetro FT-IR Nicolet 5 PC, operando em um intervalo de comprimento de onda de 4000 a 400 cm^{-1} , dotado de um sistema computadorizado, com o software Omnic versão 1.20.

5.14 Análise estatística

O estudo das variáveis observadas consta de análise de variância dos dados originais e aplicação de teste Tukey para comparar as médias obtidas. O nível de significância para os testes foi de 5 % de probabilidade.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 3 x 4, com um tratamento adicional de adubação convencional, totalizando 13 tratamentos e 5 repetições.

Os dados foram analisados estatisticamente com o auxílio do programa SISVAR. A análise de variância é apresentada na Tabela 7.

Tabela 7– Análise de variância do experimento

Causas da variação	Graus de liberdade
Dose de lodo compostado	2
Dose de cinzas	3
Repetição	4
Lodo Compostado x Cinzas	6
Resíduo	54
Total	65

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Efeito no Crescimento das plantas

Os resultados do crescimento das plantas podem ser observados nas Figuras 6 e 7 e Tabelas 8 e 9.

O crescimento inicial em altura (Figura 6-a) foi superior no tratamento com as maiores doses de lodo e cinzas. Observa-se que a influência das doses de lodo, se altera ao longo do tempo. Não foi observado efeitos das doses de cinzas. A partir da primeira medição de altura, já é possível verificar a diferença significativa para o tratamento com dose máxima de lodo e de cinzas, em relação aos demais tratamentos devido ao efeito de fornecimento de nutrientes. Entretanto o comportamento desta curva ao final do experimento começa a declinar, indicando que outros fatores, que não os nutrientes, possivelmente estão sendo limitantes para o crescimento, como por exemplo, o tamanho do vaso.

Os valores encontrados neste experimento são semelhantes aos obtidos na fase inicial por Silva (2006), que avaliou a produção, a ciclagem de nutrientes e a fertilidade do solo em plantios de *E. grandis* após a aplicação de doses lodo de esgoto comparando também com adubação convencional. O referido autor obteve valores de crescimento em altura com a aplicação da dose de 10 ton ha⁻¹ de lodo de esgoto com base seca complementado com K e B, semelhante à adubação convencional.

O crescimento em diâmetro (Figura 6-b), também não respondeu às doses de cinzas, mas pode-se observar o efeito no tempo em função das aplicações do lodo. A adubação convencional apresentou os maiores valores de diâmetro, mas sendo equivalente à

dose de 20 Mg ha⁻¹ de lodo. Se comparados à aplicação do lodo quanto a de cinzas, o tratamento testemunha apresentou os menores diâmetros, pois a disponibilidade de nutrientes no solo foi insuficiente para a nutrição mineral da planta, ocorrendo um déficit nutricional como pode ser visualizado nos gráficos.

Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas para as variáveis: área foliar, massa de galhos, massa do tronco e Intensidade de Cor Verde - ICV (Figura 7). A área foliar (Figura 7-a) e massa dos galhos (Figura 7-b), foram variáveis que responderam linearmente com a dose de 10 Mg ha⁻¹. A ausência do lodo (Dose 0) foi a condição onde ocorreram os menores resultados da massa do tronco, respondendo significativamente às doses superiores (Figura 7-c). O contrário foi observado quando avaliou-se a Intensidade de Cor Verde – ICV (Figura 7-d), provavelmente pelo menor desenvolvimento das plantas e maior concentração de clorofila nas poucas folhas das plantas (Tabela 8), indicando a forte dependência das taxas de mineralização do N.

A massa seca de folhas, massa seca de raízes e a massa total das plantas (Tabela 9) não sofreram influência das doses de cinzas nem interação entre elas, mas apenas efeito da aplicação de lodo, sendo superior conforme maior a dose. Tanto a área foliar (Figura 7-a) quanto a massa de galhos (Figura 7-b) foram superiores com as maiores doses de lodo e cinzas, indicando que houve fornecimento e absorção dos nutrientes provenientes dos resíduos. A produção de folhas obtidas por Silva et al. (2011) que também comparou doses de lodo com adubação convencional para povoamentos com 12 meses de idade, foi de 2.9 Mg ha⁻¹, com a aplicação da dose de 10 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto seco. Guedes et al. (2006) que também avaliou a produção foliar de *E. grandis* sob aplicação de lodo de esgoto obteve valores em torno de 1300 cg com dose de 40 Mg.ha⁻¹ + K, sendo equivalente à adubação convencional.

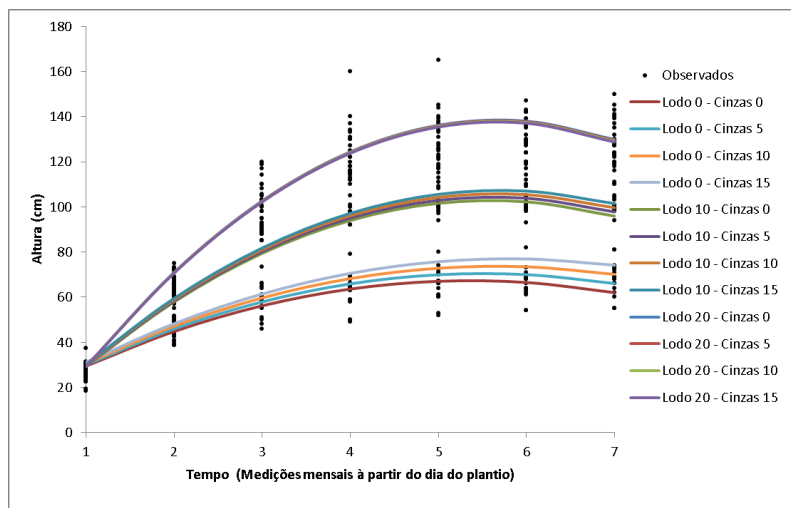
A ICV (Figura 7-d), foi superior na dose zero, provavelmente pelo efeito de concentração, pois as plantas foram inferiores em tamanho (Figura 7-d), ou seja, pelo fato de crescerem menos, concentraram mais nutrientes em menor quantidade de folhas (Tabela 8). Faria (2007) comparando o uso do lodo de esgoto com complementação de nutrientes em eucalipto, obteve resultados onde foram equivalentes à fertilização mineral convencional.

Na Tabela 6 pode-se verificar que os tratamentos com as maiores doses de lodo de esgoto compostado e cinzas forneceram quantidades de nutrientes superiores à adubação convencional com calagem. Era esperado que esses valores pudessem influenciar diretamente no crescimento das plantas, mas isso não aconteceu, ou seja, apesar de estarem presentes, os nutrientes podem não ter sido prontamente liberados às plantas, o que também pode ser observado por não apresentar efeito restritivo no crescimento. Rowell et al. (2001) estudando a decomposição e mineralização do nitrogênio de lodo de esgoto e outros materiais orgânicos encontrou correlação entre a taxa de mineralização do lodo, e que estes valores dependem da composição do material de origem e do do processo de tratamento de esgoto empregado.

Os valores obtidos na produção de galhos e tronco do experimento estão muito abaixo dos resultados obtidos por Guerrini (1990), quando avaliou por 6 meses o crescimento de *E.grandis* submetidos à diferentes formas de aplicação de N. Os valores também são muito abaixo se comparado com a adubação convencional (Figura 7-b), indicando que apesar dos resíduos apresentarem altas concentrações de nutrientes, em função da taxa de mineralização não foram liberados e, conseqüentemente, não estavam prontamente disponíveis e não foram absorvidos nem convertidos em biomassa pelas plantas.

Resultados são semelhantes aos observados por Trigueiro (2002), o qual avaliou o uso de lodo de esgoto para produção de mudas de eucalipto e pinus, onde apesar dos resultados promissores, também sugere estudos sobre o tempo necessário para a disponibilização dos nutrientes e posterior absorção pelas plantas a fim de se reduzir o uso de fertilizantes inorgânicos. Comparando-se a produção de cada parte da planta (Tabelas 8 e 9 e Figura 7) verifica-se que as maiores produções de biomassa foram observados nas folhas e raízes, sendo muito superior nas raízes, cuja produção foi aproximadamente três vezes superior à produção de folhas, segundo relatam Gonçalves et al. (2000), provavelmente, devido à própria estratégia da planta se fixar na fase inicial de crescimento, garantindo melhores chances de sobrevivência. Freitas et al. (2008), avaliando o desempenho pós plantio de mudas clonais de *E. grandis* e *E. saligna* em diferentes substratos, obtiveram produção de raízes que variou entre 227 e 497g em função do tratamento, valores semelhantes aos encontrados neste experimento na maior dose de lodo+cinzas e no tratamento com adubação inorgânica (NPK).

a) $\hat{y} = 10,12 + 21,32 t - 1,99 t^2 - 1,62 d + 1,76 td - 0,15 t^2 d + 0,12 tc - 0,01 tdc$



b)

$\hat{y} = 0,2471 + 2,902 t - 0,1753 t^2 - 0,1515 d + 0,1571 td - 0,00039 t^2 d^2$

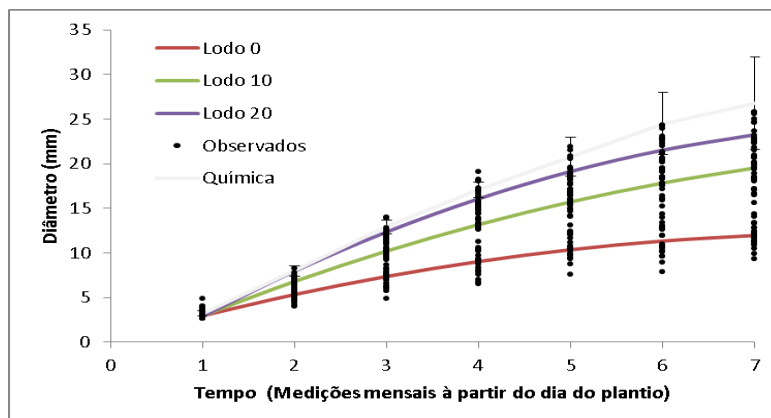


Figura 6- Crescimento em altura (a) e diâmetro (b) de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Onde: t = valor do tempo (em meses); d = valor da dose de lodo; c = dose de cinzas.

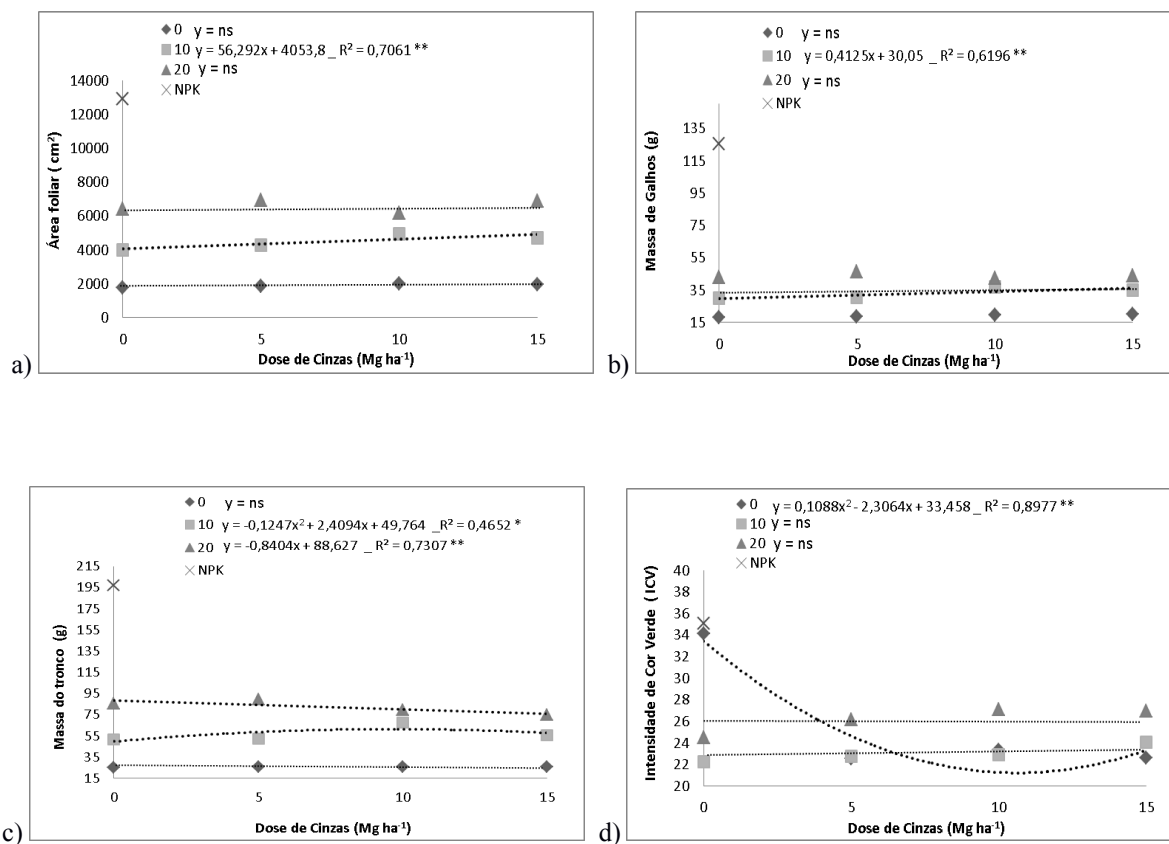


Figura 7- Ajuste da regressão para área foliar (a); massa de galhos (b); massa do tronco (c) e intensidade de cor verde (d) de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 8- Área foliar e intensidade de cor verde (ICV) de plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas de caldeira, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	Área Foliar (cm ²)				Intensidade de Cor Verde ICV)			
	0	10	20	Média	0	10	20	Média
0	1743 Ca	3971 Bc	6436 Aab	4050b	34,2 Aa	22,3 Ba	24,5 Ba	27 a
5	1847 Ca	4290 Bbc	6937A a	4359ab	22,5 Ab	22,7 Aa	26,1A a	23,8 b
10	1984 Ca	4952 Ba	6172 Ab	4369ab	23,4ABb	22,9 Ba	27,1 Aa	24,5 b
15	1956 Ca	4689 Bab	6902 Aa	4516a	22,6 Bb	24,1ABa	27A a	24,6 b
Média	1882 C	4475 B	6612 A		25,7 A	23 B	26,2 A	
NPK=	12936				NPK= 35,06			
<u>Valor de F</u>								
Lodo (L)	598,52 **				6,69 **			
Cinza (C)	3,06 *				3,30 *			
L x C	2,97 *				8,10 **			
C.V.%	10,01				11,86			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média

Tabela 9- Produção de massa seca de folhas, galhos, tronco, raízes e massa total (g) de plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas de caldeira, em Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	<u>Massa Seca Folhas</u>				<u>Massa Seca Galhos</u>				<u>Massa Seca Tronco</u>				<u>Massa Seca Raízes</u>				<u>Massa total planta</u>			
	g -----																			
	<u>Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha⁻¹)</u>																			
	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>M</u>	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>M</u>	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>M</u>	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>M</u>	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	<u>M</u>
0	22Ca	61Bc	104Aab	62a	18Ca	30Bb	43Aab	31b	25Ca	51Bb	85Aab	54ab	77Ba	220Aa	263Aa	187ab	142Ca	364Ba	493Aa	333a
5	22Ca	65Bab	94Aa	65a	19Ca	30Bb	46Aa	32ab	25Ca	52Bb	89 Aa	56ab	83Ca	170Ba	255Aa	169b	149Ca	318Ba	497Aa	321a
10	24Ca	72 Ba	94 Ab	64a	20Ca	37Ba	42Ab	33ab	26Ca	67Ba	79Abc	58a	94Ba	241Aa	270Aa	292ab	145Ba	419Aa	487Aa	350a
15	23Ca	70Bab	106Aa	67a	20Ca	35Ba	44Aab	33a	26Ca	55Bb	74 Ac	52b	75Ca	235Ba	380Ab	230a	144Ba	396Aa	453Aa	331a
Media	22C	67B	101A		19C	33B	44A		26C	60B	82A		82C	217B	292A		145C	374B	482A	
NPK				182				125				197				435				940
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	561,75 **				453,22 **				558,40 **				51,19 **				89,88 **			
Cinza(C)	1,18 NS				3,02 *				2,97 *				2,25 NS				0,33 NS			
LxC	1,89 NS				3,97 **				6,71 **				1,47 NS				0,71 NS			
C.V%	11,65				8,13				9,74				33,80				24,32			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média

6.2 Análise química do solo

Os resultados das análises químicas do solo ao final do encerramento podem ser observados nas Figuras 8 e 9 e Tabelas 10, 11 e 12.

Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas para as variáveis: matéria orgânica (M.O.), ferro (Fe) e manganês (Mn). Observa-se efeito do lodo e das cinzas, sem a interação entre elas para fósforo (P), acidez potencial (H+Al), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Soma de Bases (SB), V% e boro (B). A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) sofreram influência apenas da aplicação de cinzas. O K estava presente e totalmente disponível nas cinzas. A aplicação de lodo de esgoto compostado foi a causa de variação dos teores de cobre (Cu) e zinco (Zn).

O pH e os teores de K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram aumentados significativamente com o aumento das doses de cinza e lodo de esgoto compostado. Enquanto o pH aumentou nas maiores doses, paralelamente, a acidez potencial (H+Al) foi reduzida, evidenciando a ação neutralizante dos lodos de esgoto, pois contribuem com a elevação do pH pelas reações de degradação da carga orgânica do resíduo (Epstein et al. 1976; Logan et al. 1983) e pela alcalinidade intrínseca do resíduo quando este é estabilizado, também relatado em Oliveira et al (2002).

O teor inicial de M.O. no solo (Tabela 1) foi superior à todos os tratamentos ao encerramento do experimento, 6 meses após o plantio, indicando possivelmente a ocorrência do efeito “priming”, pela própria ação dos microrganismos na fase de mineralização, descrito por Blagodatskaya & Kuzyakov (2008). A maior taxa de decomposição da M.O. do solo após adição de material orgânico é atribuída ao aumento da atividade dos microrganismos que em função do aumento da disponibilidade de substrato energético, promove aumento da comunidade microbiana e conseqüentemente, maior consumo do substrato pelos mesmos. Fontaine et al. (2003), analisou estes resultados aparentemente contraditórios e o atribuiu à complexas interações entre microrganismos especializados que interagem propiciando esse consumo da M.O. polimerizada do solo. Guedes et al. (2006), avaliando as propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto, observaram que nos tratamentos em que foram incorporadas doses de 10, 20 e 40 Mg.ha⁻¹ de lodo de esgoto houve uma redução de C orgânico em relação ao solo que recebeu doses de 80 e 160 Mg.ha⁻¹ de lodo

de esgoto, bem como uma tendência de redução em relação ao C orgânico original do solo e atribuíram esse resultado ao efeito “priming”, também relatados por Terry (1979) e Hsieh et al. (1981).

O teor inicial de K no solo (Tabela 1) recebeu incrementos em função das doses crescentes de cinza, sendo superior nos tratamentos com maior dose (15 Mg ha^{-1}), o que também foi observado por Guerrini et al., (1998) em trabalho com aplicação de cinza e lodo orgânico, onde apenas os tratamentos que receberam cinza tiveram o teor de K aumentado. Houve redução da M.O.com a aplicação da maior dose de cinzas. Os teores de Fe no solo foram reduzidos com o aumento das doses de cinza e lodo de esgoto compostado (Tabela 12), indicando o efeito do aumento do pH sobre sua disponibilidade. Por outro lado, este também foi absorvido pelas plantas, como pode ser verificado seu acúmulo nas folhas (Tabela 16), galhos (Tabela 20) e raiz (Tabela 28). Nos solos ácidos verifica-se a fixação do fósforo (P) pelo ferro (Fe) e pelo alumínio (Al) formando compostos insolúveis não aproveitáveis para as plantas. A correção da acidez do solo para valores de pH em torno de 6,0 tende a restringir o efeito de aumento de disponibilidade de alguns micronutrientes (Cu e Mn) sobre a absorção do Fe (Bataglia, 1991), pois interfere no fluxo difusivo desse elemento.

Segundo Darolt & Osaki (1991), na dose de 20 ton ha^{-1} de cinzas, o Mg fica pouco disponível às plantas pela precipitação do mesmo na forma de carbonatos. Mas observando até a dose de 15 Mg h^{-1} , não houve este efeito antagônico no teor de Mg no solo (Figura 9-c) nem da disponibilidade de Al (Figura 9-a).

Guedes et al. (2006) avaliando as propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto, observaram que a aplicação de bio-sólido alcalino melhorou as propriedades químicas do solo, diminuindo a acidez e aumentando a disponibilidade da maioria dos nutrientes. Com a dose de 40 Mg.ha^{-1} de lodo de esgoto aplicado em superfície obteve os maiores valores de P no solo se comparado com o tratamento de mesma dose mas incorporado ao solo, provavelmente pelo fato do aumento da área de contato, que promoveu maior adsorção do elemento. Além disso, concluíram que após um ano de aplicação a dose de 40 Mg.ha^{-1} de lodo de esgoto não causou efeito condicionador de solo, pois a incorporação desse material diminuiu o teor de C orgânico, mesmo com as menores doses. Sui & Thompson (2000), Bramryd (2001) Simonete et al. (2003) também obtiveram maiores valores de P no solo com a aplicação de lodo de esgoto.

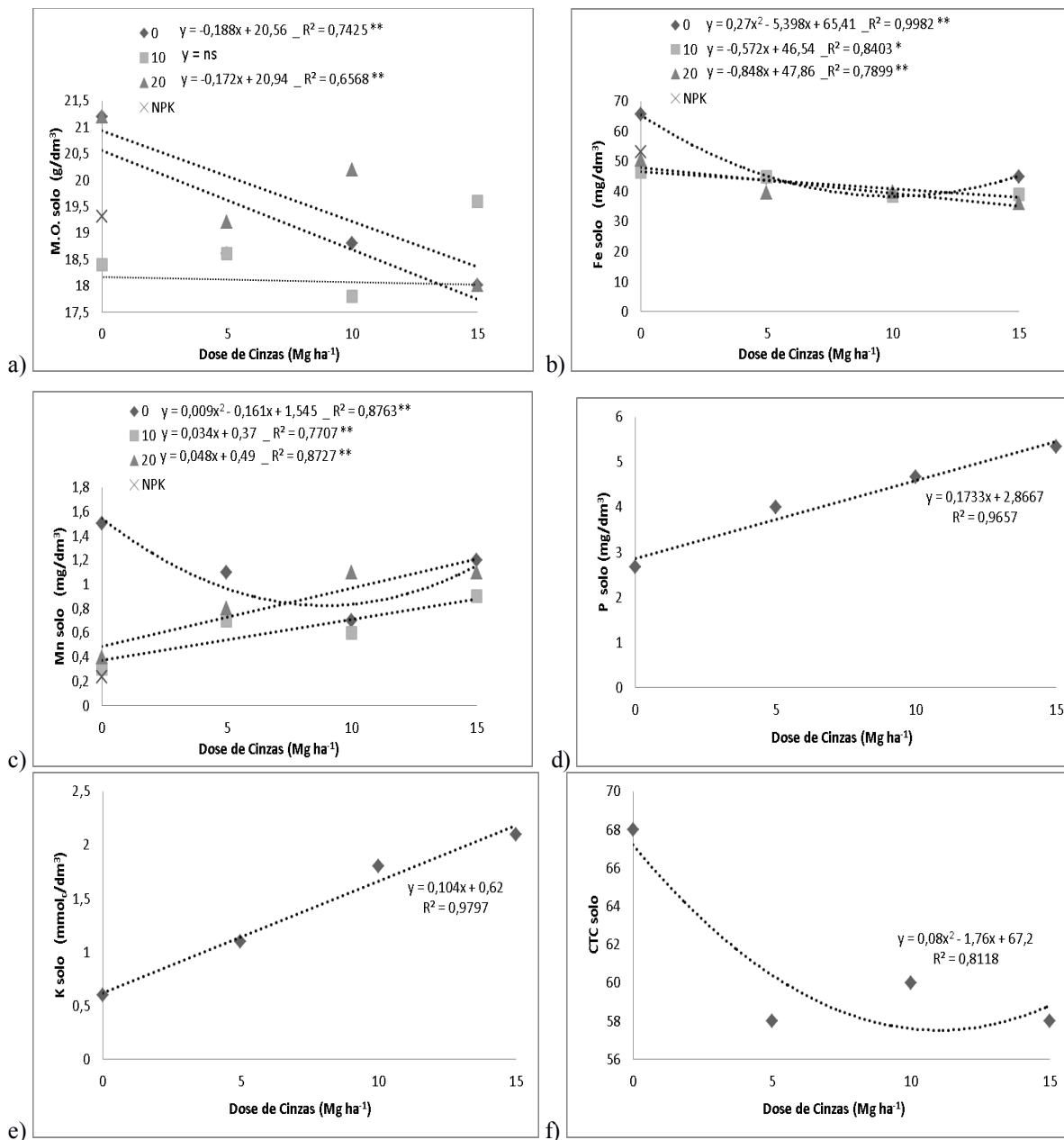


Figura 8 - Ajuste da regressão para matéria orgânica (a); teor de Fe (b) e Mn (c); Teores médios de P (d);K (e) e CTC (f) encontrados em solos cultivados com eucalipto por 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

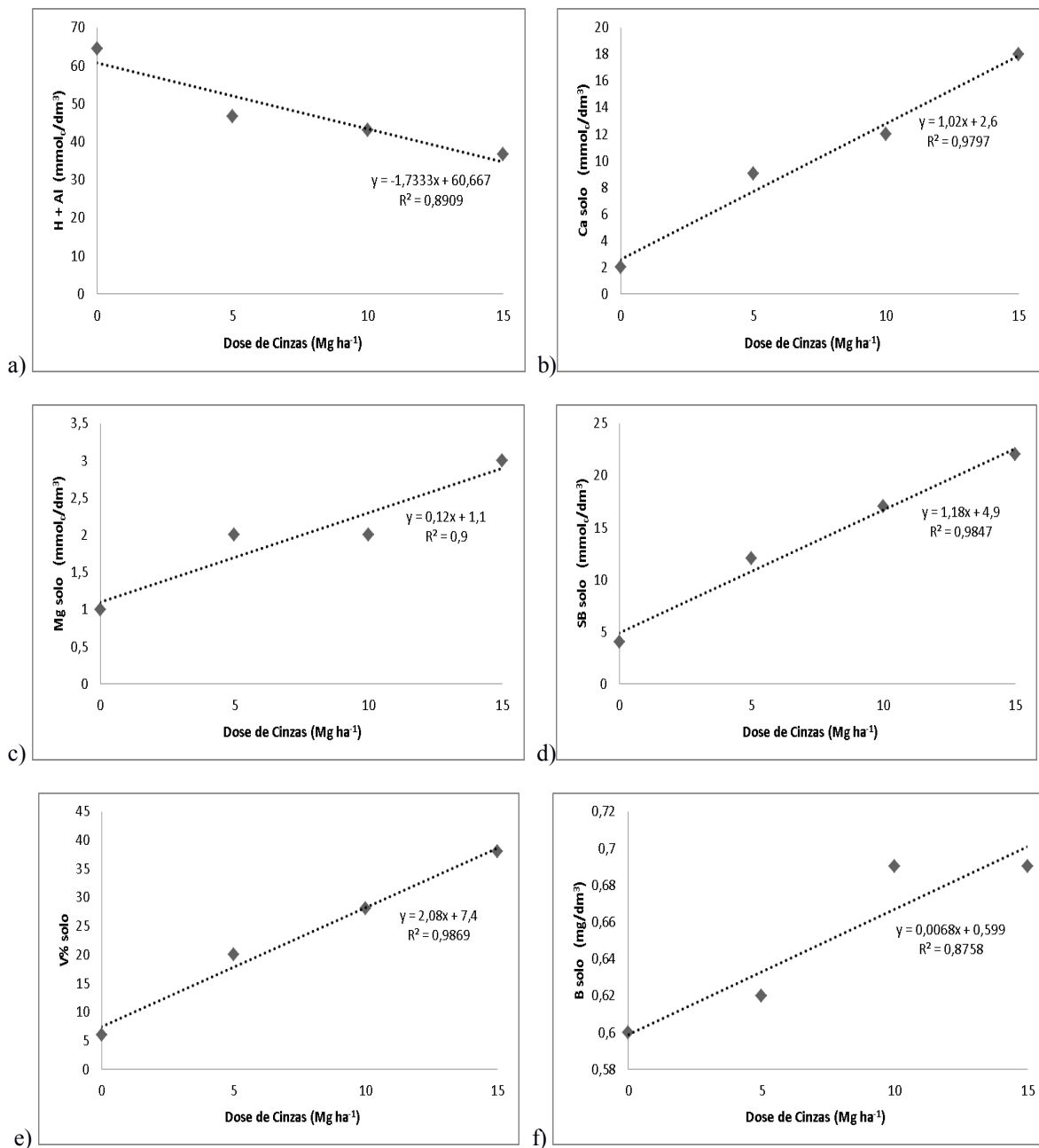


Figura 9- Teores médios de acidez potencial (a); teor de cálcio (b); teor de magnésio (c); Soma de Bases (d); V% (e); teor de boro (f); encontrados em solos cultivados com eucalipto por 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 10- Resultados da análise química de Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	pH				M.O.				P resina				H+Al				K			
	CaCl ₂				g/dm ³				mg/dm ³				mmol/dm ³							
Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																				
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	4,1Ab	4,1Ac	4,1Ac	4,1d	21Aa	18Bab	21Aa	20a	1Ba	2Ab	5Ab	3c	66Ab	64Ac	63Ac	64c	0,5Ad	0,6Ad	0,6Ac	0,6d
5	4,4Aab	4,5Ab	4,5Ab	4,5c	19Ab	19Aab	19Abc	19b	2Ba	4Abb	6Ab	4bc	47Aa	47Ab	46Ab	47b	1,1cA	1,2Ac	1,1Ab	1,1c
10	4,6Aa	4,6Ab	4,9Aa	4,7b	19Ab	18Bb	20Aab	19b	2Ba	3Bb	9Aa	5ab	47Aa	44Ab	38Aab	43b	1,7Ab	1,7Ab	2,0Aa	1,8b
15	4,7Aa	5,1Aa	5,1Aa	5a	18Bb	20Aa	18Bc	19b	2Ba	7Aa	7Ab	6a	43Ba	34ABa	33Aa	37a	2,2Aa	2,4Aa	1,8Ba	2,1a
Med	4,5B	4,6AB	4,7A		19AB	19B	20A		2C	4B	7A		51B	47AB	45A		1,4A	1,5A	1,4A	
NPK				4,2				19				17				67				0,7
<u>Valor de F</u>																				
Lodo(L)	2,38 ns				3,81 *				30,23 **				3,26 *				0,96 ns			
Cinza(C)	24,66 **				6,21 **				5,16 **				40,65 **				80,63 **			
LxC	1,14 ns				4,53 **				1,83 ns				0,64 ns				2,16 ns			
C.V%	6,59				6,29				47,56				15,10				20,82			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 11- Resultados da análise química de Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	Ca				Mg				SB				CTC				V%			
	mmol/dm ³																			
Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																				
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	2Ab	2Ac	3Ac	3d	1Ab	1Ac	1Ac	1c	3Ab	4Ac	5Ac	4d	70Aa	67Aa	68Aa	68a	5Ab	6Ac	8Ac	6d
5	7Aab	9Ab	10Ab	9c	2Aab	2Ab	2Ab	2b	10Aab	12Ab	14Ab	12c	56Ab	59Ab	60Ab	59b	17Aab	21Ab	23Ab	21c
10	8Bab	11Bb	18Aa	12b	2Ba	2Bab	3Ab	2a	12Ba	15Bb	23Aa	16b	59Ab	59Ab	61Ab	60b	21Ba	25Bb	37Aa	28b
15	11Ba	21Aa	21Aa	17a	2Ba	3Aa	3Aa	3a	14Ba	26Aa	25Aa	22a	57Ab	60Ab	58Ab	58b	26Ba	43Aa	44Aa	38a
Média	7B	11A	13A		2B	2B	2A		10B	14A	17A		61A	61A	62A		17B	24A	28A	
NPK				4				3,4				8,4				76				11,6
<u>Valor de F</u>																				
Lodo(L)	7,54 **				10,82 **				8,99 **				0,55 ns				6,18 **			
Cinza(C)	23,66 **				23,57 **				30,33 **				28,66 **				28,70 **			
LxC	1,75 ns				2,00 ns				1,92 ns				0,99 ns				1,32 ns			
C.V%	48,71				26,86				38,62				5,71				41,66			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 12– Resultados da análise química de micronutrientes em Latossolo Vermelho (LV) após 6 meses de plantio com eucalipto, submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe mg/dm ³				Mn				Zn			
									Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)											
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	0,5Ab	0,6Ab	0,6Ab	0,6b	1,0Aa	0,9Aa	1,1Aa	1,0a	66Aa	46Ba	50Ba	54a	1,5Aa	0,3Bab	0,4Bb	0,7b	0,3Ba	3,1Ba	7,4Aa	3,6a
5	0,6Aab	0,6Ab	0,6Aab	0,6b	0,7Bb	0,9ABa	1,0Aa	0,8a	45Aa	45Aa	40Ab	43b	1,1Ab	0,7Bb	0,8ABab	0,9ab	0,6Ba	5,2Aa	7,7Aa	4,5a
10	0,6Bab	0,7Aa	0,7ABa	0,7a	0,8Bab	0,8Ba	1,2Aa	0,9a	39Ab	39Aa	40Ab	39b	0,7Bc	0,6Bab	1,1Aa	0,8b	0,5Ba	3,0Ba	9,5Aa	4,4a
15	0,7Aa	0,7Aa	0,7Aab	0,7a	0,8Bab	1,0ABa	1,1Aa	1,0a	45Ab	39ABa	36Bb	40b	1,2Aab	0,9Aa	1,1Aa	1,1a	0,8Ba	5,6Aa	7,6Aa	4,7a
M	0,6B	0,7A	0,6B		0,8B	0,9B	1,1A		48A	42B	42B		1,1A	0,6C	0,9A		0,6C	4,2B	8,1A	
NPK				0,54				0,7				53				0,2				0,2
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	5,20 **				12,36 **				7,46 **				12,71 **				52,01 **			
Cinza(C)	6,10 **				0,97 ns				17,74 **				3,43 *				0,61 ns			
LxC	0,63 ns				1,29 ns				2,99 *				6,31 **				1,02 ns			
C.V%	11,05				17,30				14,38				34,25				54,29			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

6.3 Teores e acúmulos foliares

Os resultados das análises químicas foliares, realizadas ao final do experimento podem ser observados nas Figuras 10,11 e 12 e nas Tabelas 13, 14, 15 e 16.

Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas para os teores de P, Ca, Mg, Cu, Mn e Zn (Tabelas 13 e 14) e acúmulos de P, K, Ca, Mg, S e Zn (Tabelas 15 e 16). Os acúmulos foliares de K foram maiores com as maiores doses das cinzas e do lodo, evidenciando a capacidade das cinzas no fornecimento deste nutriente. Observa-se efeito do lodo e das cinzas, sem a interação entre elas no teor de K (Tabela 13) e acúmulo de B e Mn (Tabela 16). Somente o teor foliar de B sofreu influência apenas da aplicação de cinzas (Tabela 13).

O lodo foi a única causa de variação do teores foliar de S (Tabela 13) e acúmulo de N, Cu e Fe (Tabelas 15 e 16). Pode-se observar a imobilização do N avaliando-se os valores de N acumulados nas folhas, uma vez que a testemunha absoluta apresentou valores superiores, reduzindo seu acúmulo em função das aplicações das doses de cinzas (Tabela 15). Conforme a classificação de Malavolta et al.(1997), os teores de N, P, K, Ca, Mg, Cu, Fe e Zn obtidos com as doses de cinza e lodo de esgoto podem ser considerados como deficientes, pois estão todos abaixo da faixa considerada como adequada, provavelmente devido à baixa liberação de nutrientes às plantas pelo composto orgânico, conforme também observado por outros pesquisadores. Para o P e o Mg, o tratamento com as maiores doses de lodo de esgoto compostado e cinzas promoveram acúmulo de nove vezes ao tratamento testemunha (Tabela 15).

Os valores médios de K, Ca, Mg, S, Cu, Fe e Zn foram inferiores aos considerados adequados por Gonçalves et al. (2000). Quando se compara os respectivos acúmulos dos nutrientes, pode-se verificar a ocorrência do efeito de diluição/concentração, efeito amplamente relatado na literatura (Beverly, 1981), pois observando-se apenas o teor dos nutrientes em função dos tratamentos, pode-se apenas aferir sobre a faixa de adequado ou deficiente, e quando se analisa seus respectivos acúmulos, pode-se verificar a influência de cada tratamento (Tabelas 15 e 16).

Silva et al. (2008) quando estudaram o volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em *E. grandis* com 18 meses de idade, fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco, obtiveram teores superiores de N, P, e Mg com a dose de 30 ton. ha⁻¹. Os teores de Ca e S foram semelhantes e apenas o teor de K obtido neste experimento foi superior aos analisados por eles. Em análises realizadas nessa mesma área experimental aos 10 meses de idade, apresentaram concentrações foliares de N variando entre 29 e 35 g kg⁻¹, conforme as doses de lodo de esgoto aplicadas (POGGIANI, 2004b), valores ainda muito superiores aos obtidos (4-5 g kg⁻¹). Em outro exemplo, Guedes e Poggiani (2003) que avaliaram a aplicação de lodo de esgoto nas entrelinhas de plantio de *E. grandis*, constataram aumento das concentrações foliares de N, P, Ca e S, bem como a diminuição de Mn e Mg.

O teor médio de K foliar (Figura 10-b), está acima dos teores encontrados por Silva et al. (2008), quando estudaram apenas o lodo de esgoto, sem a adição de cinzas, reforçando assim a propriedade das cinzas de caldeira no fornecimento de K e o fato da baixa concentração no lodo de esgoto pois é um elemento altamente solúvel em água, sendo perdido no efluente líquido durante o tratamento (TSUTIYA, 2001). Os teores foliares de N, P, K, Ca, Mg, S, Cu e Zn estão muito abaixo dos encontrados por Guerrini & Villas Boas (2000) em *E. grandis* com 3 anos de idade submetidos à aplicação de lodo e cinzas conduzidos em latossolo. Conforme a classificação de Quaggio et al. (1996), os teores de Cu, Fe, Mn e Zn estão abaixo dos teores adequados. Guedes et al. (2006) avaliando as propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto, observaram que a aplicação de bio sólido alcalino promoveu aumento dos teores foliares de Ca, N, P, S e diminuição dos teores de Mn e Mg em plantas jovens.

Com relação aos micronutrientes, as doses de lodo e cinzas forneceram mais Cu, Mn e Zn que a adubação convencional (NPK). Os valores encontrados por Silva et al. (2008), foram inferiores para B foliar; semelhantes para Zn e superiores para Cu e Fe aos obtidos neste experimento.

Conforme a classificação de Malavolta et al. (1997), o tratamento com adubação química (NPK) seria considerado adequado para os teores de P, Ca e Mg (Figura 10) e deficiente para Mn e Zn (Figura 11). Ao observar os valores acumulados na Figura 12, os

valores de P, K, Ca, Mg e S foram muito superiores no tratamento NPK, indicando que apesar dos altos valores desses nutrientes presentes nos tratamentos (Tabela 6), eles não estavam prontamente disponíveis às plantas.

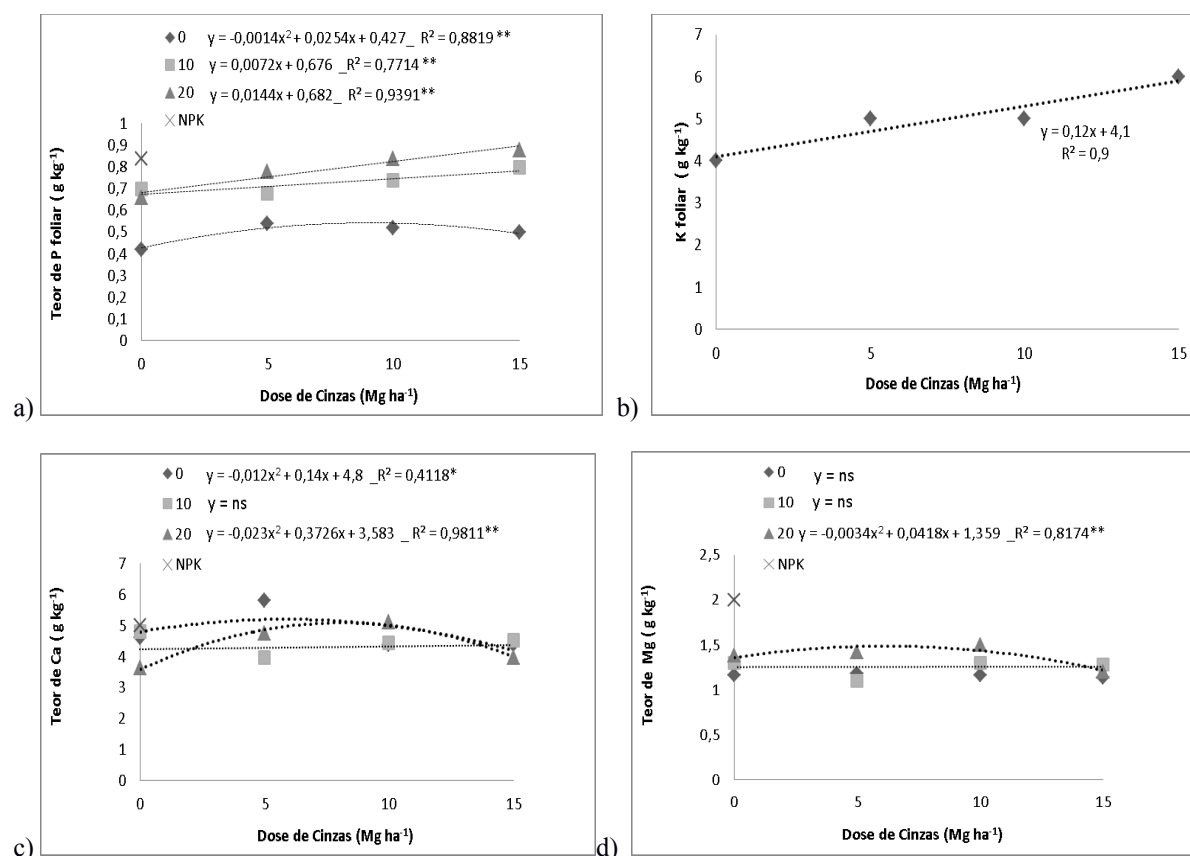


Figura 10- Ajuste da regressão para teores de fósforo (a), cálcio (c) e magnésio (d) e teor médio de potássio foliar (b) e em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

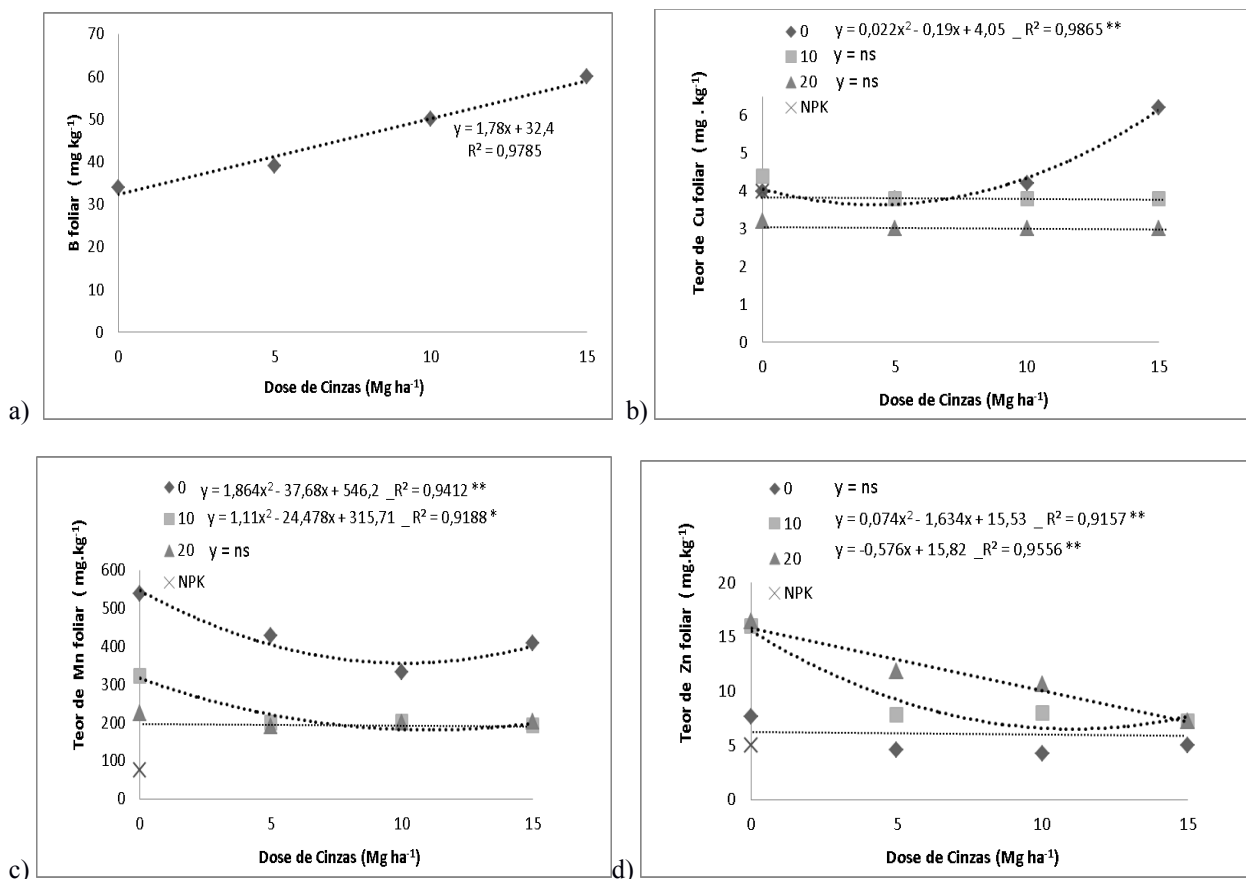


Figura 11- Teor médio de boro (a) e ajuste da regressão para teores de cobre (b), manganês (c) e zinco (d) em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

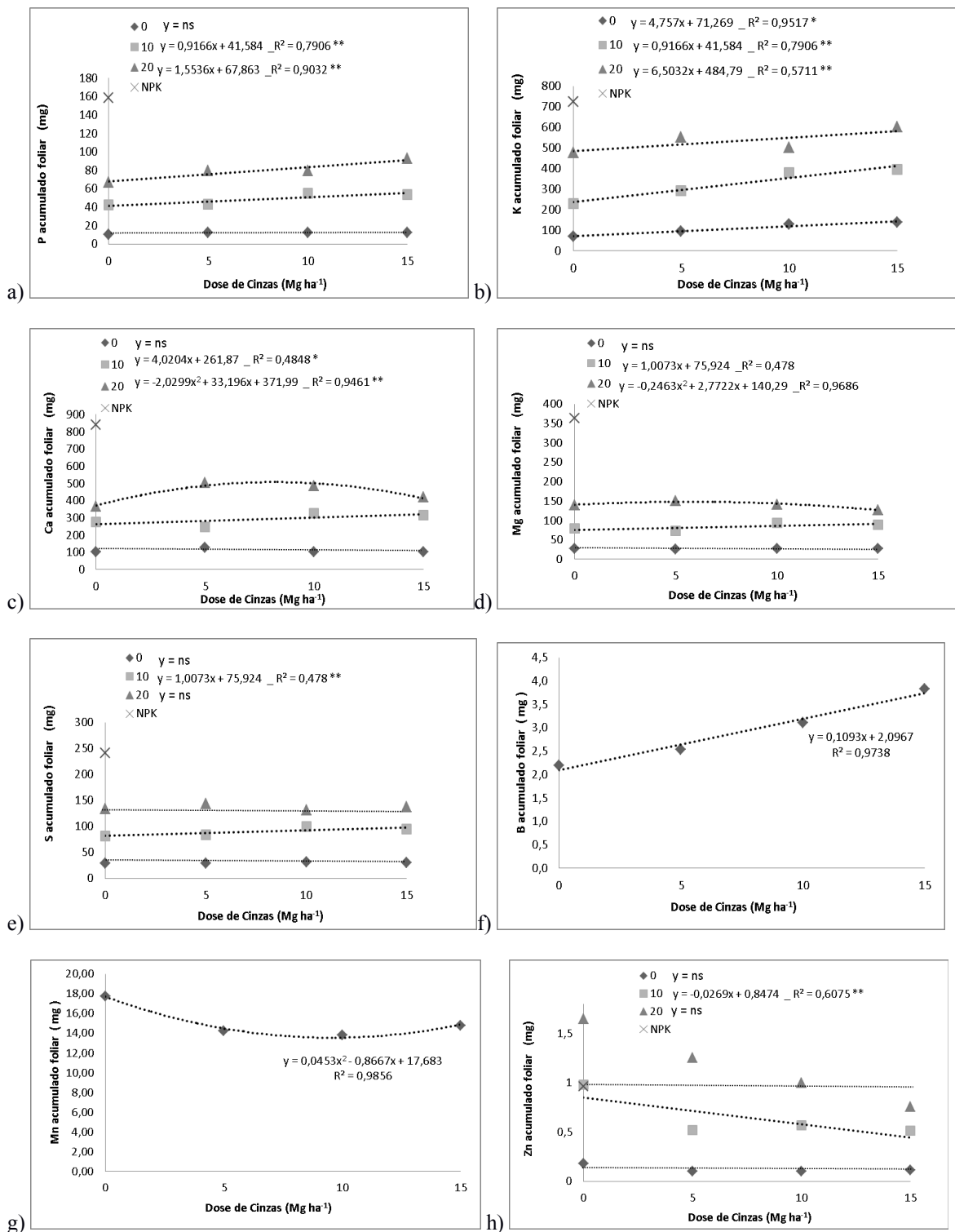


Figura 12- Ajuste da regressão para acúmulo de P (a); K (b); Ca (c); Mg (d); S (e); Zn (h) e acúmulo médio de boro (f) e manganês (g) acumulados em folhas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinza e lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 13 - Teor de nutrientes nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	N				P				K				Ca				Mg				S			
	g.kg ⁻¹																							
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																							
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	5	4	4	4	0,4Bb	0,7Ab	0,7Ac	0,5c	3Bc	4ABc	5Ab	4c	5Ab	5Aa	4Bb	4b	1,2Ba	1,3ABa	1,4Aa	1,3ab	1,3a	1,3a	1,3a	1,3ab
5	4	4	5	4	0,5Ca	0,7Bb	0,8Ab	0,7b	4Ab	5Abc	5Aab	5b	6Aa	4Cb	5Ba	5a	1,2Ba	1,1Bb	1,4Aa	1,2ab	1,3a	1,3a	1,3a	1,3b
10	3	4	5	4	0,5Ca	0,7Bab	0,8Aab	0,7ab	6Aa	5Aab	5Aab	6a	4Bb	4ABab	5Aa	5ab	1,2Ba	1,3Ba	1,5Aa	1,3a	1,3b	1,4a	1,4a	1,4a
15	4	4	4	4	0,5Ca	0,8Ba	0,9Aa	0,7a	6Aa	6Aa	5Aa	6a	4Ab	5Aab	4Ab	4b	1,1Aa	1,3Aa	1,2Ab	1,2b	1,3b	1,4a	1,3ab	1,3ab
M	4	4	5		0,5C	0,7B	0,8A		5B	5AB	5A		5A	4B	4B		1,2B	1,3B	1,4A		1,3B	1,3A	1,3A	
NPK	7				0,8				4				5				2,0				1,3			
Valor de F																								
Lodo(L)	2,93 ns				170,68 **				3,22 *				3,78 *				12,91 **				9,31 **			
Cinza(C)	0,53 ns				17,53 **				18,78 **				3,59 *				2,08 ns				1,91 ns			
LxC	1,50 ns				4,19 **				1,86 ns				7,30 **				2,51 *				1,40 ns			
C.V%	25,98				7,95				15,27				11,86				10,69				3,04			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 14 - Teor de micronutrientes nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe mg.kg ⁻¹				Mn				Zn			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	31Ac	31Ab	39Ac	34c	4ABb	4Aa	3Ba	4ab	43	45	36	41	538Aa	323Ba	224Ca	362a	8Ba	16Aa	16Aa	13a
5	40Ac	36Ab	41Abc	39c	4Ab	4Aa	3Aa	4b	50	39	43	44	428Ab	200Bb	189,2Ba	273b	5Cb	8Bb	12Ab	8b
10	51Ab	48Aa	50Aab	50b	4Ab	4ABa	3Ba	4b	43	43	41	42	332Ac	202Bb	200Ba	245b	4Bb	8Ab	11Ab	8b
15	67Aa	57Ba	56Ba	60a	6Aa	4Ba	3Ba	4a	46	46	67	53	408Ab	191Bb	202Ba	267b	5Aab	7Ab	7Ac	7b
Média	47A	43A	47A		5A	4B	3C		45	43	47		426A	230B	204B		5C	10B	12A	
NPK				20				4,2				54				74				5
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	1,96 ns				16,5 **				0,32 ns				94,57 **				37,99 **			
Cinza(C)	34,82 **				2,67 *				2,02 ns				12,63 **				26,45 **			
LxC	1,29 ns				3,51 **				1,54 ns				2,72 *				3,00 *			
C.V%	16,76				21,59				32,43				19,57				25,93			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 15 – Nutrientes acumulados (mg planta⁻¹) nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	mg planta ⁻¹																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																							
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	102Ca	250Ba	420Ab	257a	10Ca	42Bb	67Ac	40c	69Ca	228Bb	478Ac	258c	103Ca	277Bab	366Ab	249b	27Ca	79Bab	140Aab	82a	29Ca	81Bc	134Aab	81a
5	79Ca	254Ba	548Aa	294a	12Ca	43Bb	79Ab	45b	94Ca	292Bb	552Aab	313b	127Ca	246Bb	504Aa	293a	26Ca	72Bb	150Aa	83a	29Ca	84Bbc	143Aa	85a
10	84Aa	294Ba	511Cab	296a	12Ca	55Ba	79Ab	49ab	129Ca	381Ba	502Abc	337b	103Ca	327Ba	484Aa	305a	28Ca	93Ba	141Aab	87a	31Ca	99Ba	131Ab	87a
15	87Ca	288Ba	439Aab	271a	12Ca	54Ba	93Aa	53a	136Ca	393Ba	609Ab	379a	103Ca	317Ba	419Ab	279ab	27Ca	89Ba	127Ab	81a	29Ca	94Bab	138Aab	87a
M	88C	271B	479A		12C	49B	80A		107C	324B	535A		109C	292B	443A		27C	84B	140A		30C	90B	136A	
NPK				1207				158				761				855				363				237
	Valor de F																							
Lodo(L)				80,37 **				628,24 **				319,66 **				268,10 **				459,68 **				675,25 **
Cinza(C)				0,55 ns				12,66 **				13,42 **				4,15 *				0,88 ns				1,29 ns
LxC				0,82 ns				4,37 **				2,39 *				4,48 **				2,78 *				2,32 *
C.V%				34,93				12,99				16,64				16,28				14,10				10,83

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 16 - Micronutrientes acumulados (mg) nas folhas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	mg.planta ⁻¹																			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	0,7Cc	1,9Bb	4Ac	2,2c	0,1Ba	0,3Aa	0,3Aa	0,2a	0,9Ba	2,7Aa	3,6Ab	2,4b	11,1Ba	19,6Aa	22,6Aa	17,8a	0,2Ca	1,0Ba	1,6Aa	0,9a
5	0,9Cab	2,3Bb	4,4Abc	2,5c	0,1Ca	0,3Ba	0,3Aa	0,2a	1,1Ba	2,5Ba	4,6Ab	2,8b	9,5Ba	13,1Bb	20,1Aa	14,2b	0,1Ca	0,5Bb	1,3Ab	0,6b
10	1,2Cab	3,4Ba	4,7Ab	3,1b	0,1Ba	0,3Aa	0,3Aa	0,2a	1,0Ba	3,2Aa	3,9Ab	2,7b	8,0Ca	14,3Bb	19,1Aa	13,8b	0,1Ca	0,6Bb	1,0Ac	0,6bc
15	1,6 Ca	4 Ba	5,9Aa	3,8a	0,1Ba	0,3Aa	0,3Aa	0,2a	1,1Ca	3,2Ba	7,1Aa	3,8a	9,6Ba	13,5Bb	21,3Aa	14,8b	0,1Ca	0,5Bb	0,8Ad	0,5c
Média	1,1 C	4 B	5,9 A		0,1C	0,3B	0,3A		1C	2,9 B	4,8 A		9,6C	15,1B	20,8A		0,1C	0,7B	1,2A	
NPK		3,6				0,7				9,4				14,6					0,96	
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	222,99 **				107,08 **				36,33 **				60,76 **				160,66 **			
Cinza(C)	25,78 **				0,80 ns				2,81 ns				4,60 **				18,70 **			
LxC	1,92 ns				1,05 ns				2,04 ns				0,81 ns				5,27 *			
C.V%	18,66				20,45				47,97				21,27				28,44			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

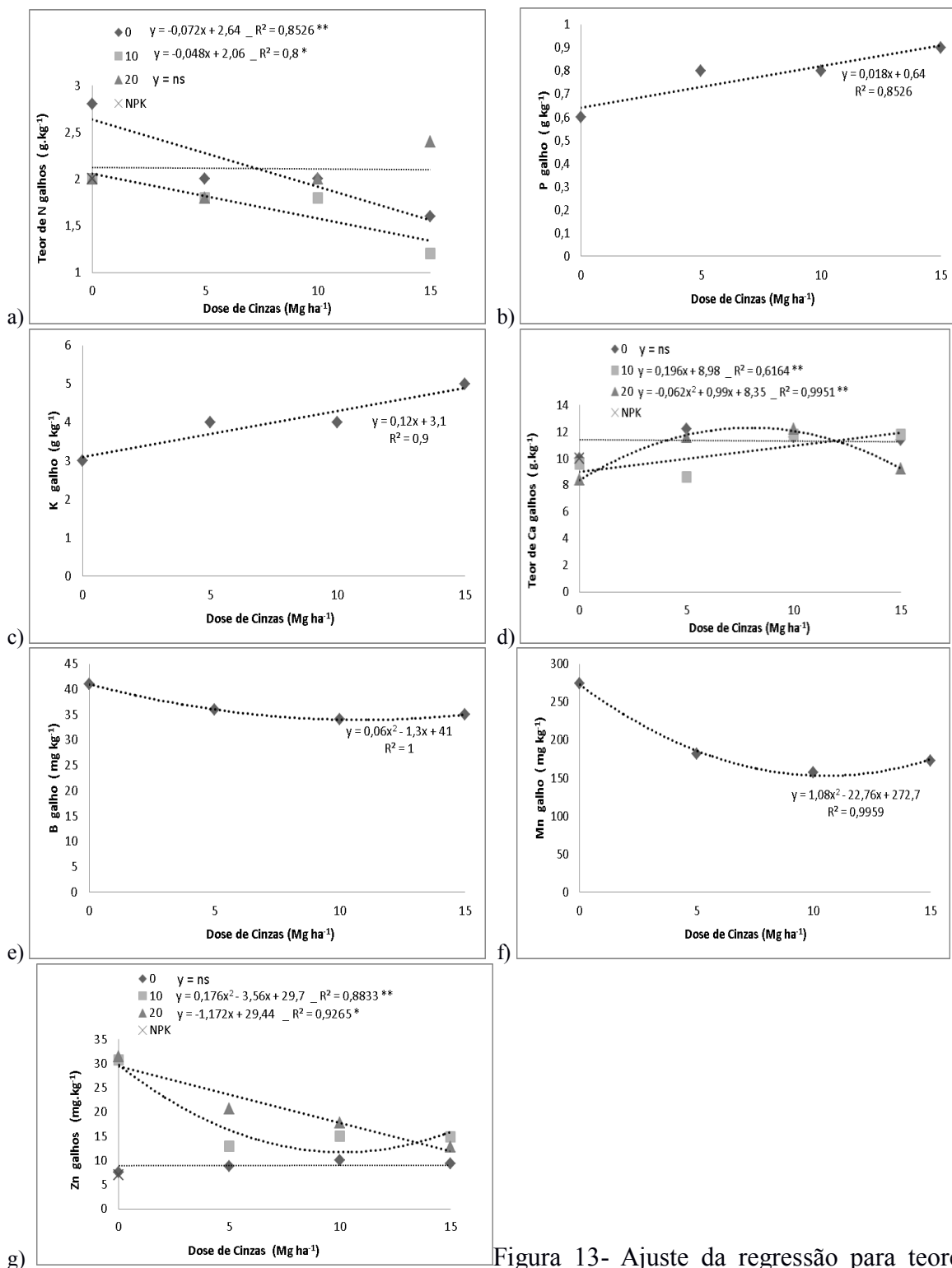
6.4 Teores e acúmulos nos galhos

Os resultados das análises químicas dos galhos podem ser observados nas Figuras 13 e 14 e nas Tabelas 17, 18, 19 e 20. Houve interação significativa entre as doses de lodo e de cinzas para os teores de N, Ca e Zn (Tabelas 17 e 18) e acúmulos de Ca, Mg, S, B e Zn (Tabelas 19 e 20). Observa-se efeito do lodo e das cinzas, sem interação para os teores de P, B e Mn (Tabelas 17 e 18) e acúmulos de P e K (Tabela 19). A aplicação de cinzas foi o fator que alterou os teores de K (Tabela 16) e acúmulo de Mn (Tabela 20). O lodo foi a única causa de variação dos teores de Cu (Tabela 18) e acúmulos de N, Cu e Fe (Tabelas 19 e 20). Para a análise química dos galhos, os teores de Mg, S e Fe (Tabelas 17 e 18) não sofreram influência do lodo nem da aplicação das cinzas.

Os galhos, principalmente os jovens, são importantes compartimentos de armazenamento de nutrientes, considerando-se a redistribuição dos nutrientes, onde os armazenados nos galhos velhos suprem o crescimento inicial das folhas e galhos novos. Parte dos nutrientes presentes nas folhas retornam aos galhos, nos períodos que antecedem a abscisão (Bellote & Silva 2000, citando Driessche, 1974). Além disso, os galhos normalmente permanecem no campo após a exploração, fato que minimiza a quantidade de nutrientes explorados do sítio. Com relação à adubação NPK, os teores de N e Ca foram semelhantes aos tratamentos com cinza e lodo de esgoto compostado (Figura 13).

Silva et al. (2011) avaliaram a produção de biomassa da parte aérea de *E. grandis* submetidos à doses de lodo e obteve acúmulos, 36 meses após plantio, comparável às parcelas com fertilizante mineral, que foi equivalente a 3 vezes mais N e 4 vezes mais P para os tratamentos de lodo. Esse padrão foi consistente com outros experimentos de campo em plantações de eucalipto no Brasil, mostrando que as quantidades de nutrientes aplicados no tratamento não foram limitantes para o crescimento das árvores.

Os maiores valores dos nutrientes nos galhos encontrados pela adição da adubação inorgânica em comparação com as doses de lodo e cinza podem estar diretamente relacionados com a taxa de mineralização do composto, visto que nas análises químicas dos resíduos todos os nutrientes estavam presentes em quantidades até superiores à adubação convencional e ainda assim, não apresentando nenhum efeito restritivo apesar das altas dosagens dos resíduos.



g) Figura 13- Ajuste da regressão para teores de nitrogênio (a); cálcio (d); zinco (g) e teores médios de fósforo (b); potássio (c); boro (e) e manganês (f) em galhos de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado(0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

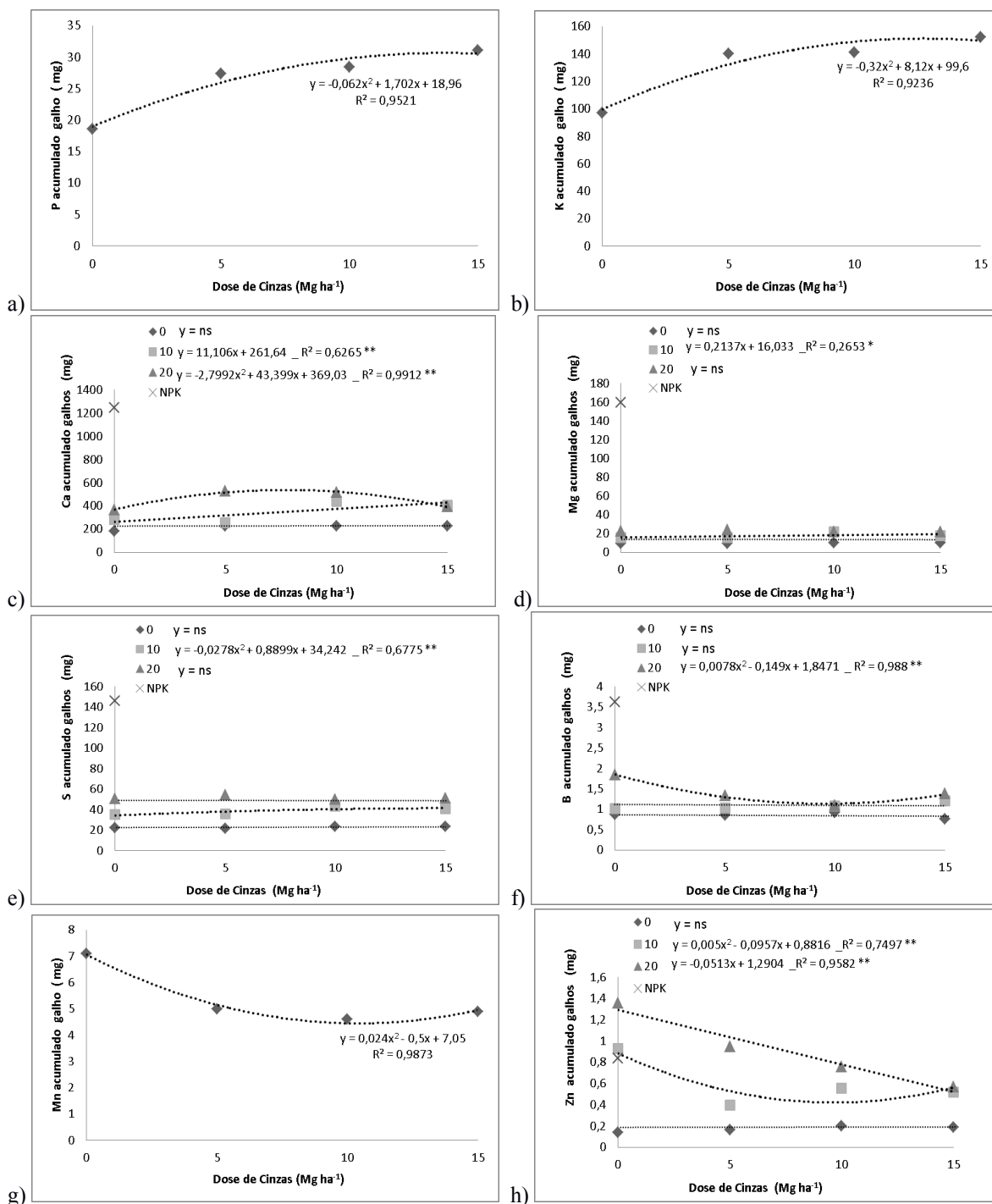


Figura 14- Acúmulo médio de P (a); K (b); Mn (g) e ajuste da regressão para acúmulo de Ca (c);Mg (d); enxofre (e); boro (f) e zinco (h) e acumulados em galhos de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado.

Tabela 17- Teor de nutrientes em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	g.kg ⁻¹																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	3Aa	2Ba	2Ba	2a	0,3Bb	0,8Aa	0,7Ab	0,6b	3AB	4Ab	3Ab	3b	10Ab	10Ab	8Ab	9b	0,6	,5	0,5	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2
5	2Ab	2Aab	2Aa	2ab	0,6Ba	0,7Ba	1,0Aa	0,8a	4Aab	4Aab	5Aa	4a	12Aa	9Bb	12Aa	11a	0,5	0,5	0,5	0,5	1,2	1,2	1,2	1,2
10	2Ab	2Aab	2Aa	2ab	0,7Ba	0,8ABa	1,0Aa	0,8a	5Aa	4Aab	4Aab	4a	12Aab	12Aa	12Aa	12a	0,5	0,6	0,5	0,5	1,2	1,2	1,2	1,2
15	2Bb	1Bb	2Aa	2b	0,5Ba	0,9Aa	1,2Aa	0,9a	4Aa	5Aa	5Aa	5a	11Aab	12Aa	9Bb	11a	0,5	0,5	0,5	0,5	1,2	1,2	1,2	1,2
M	2B	1B	2A		0,5C	0,8B	1A		4A	4A	4A		11A	11AB	10B		0,5A	0,5A	0,5A		1,2A	1,2A	1,2A	
NPK				2				1,4				7				10				1,2				1,2
	Valor de F																							
Lodo(L)	3,14 *				23,80 **				0,06 ns				2,50 ns				0,44 ns				0,65 ns			
Cinza(C)	2,55 ns				6,20 **				5,62 **				7,45 **				1,29 ns				0,79 ns			
LxC	2,33 *				1,54 ns				0,66 ns				4,11 **				1,40 ns				1,22 ns			
C.V%	28,19				27,84				21,06				13,80				14,85				2,33			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 18 - Teor de micronutrientes em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	mg.kg ⁻¹																			
	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	
0	47Aa	33Ba	43Aa	41a	7Aa	6Ba	5Ba	6a	57	40	40	46	435Aa	227Ba	161Ba	274a	8Ba	31Aa	31Aa	23a
5	46Aa	34Ba	29Bb	36ab	6Aa	6Aa	6Aa	6a	44	37	33	38	286Ab	148Bb	113Ba	182b	9Ca	13Bb	21Ab	14bc
10	47Aa	29Ba	26Bb	34b	7Aa	5Ba	6Ba	6a	38	43	45	42	241Ab	114Bb	117Ba	157b	10Ba	15Ab	18Ab	14b
15	38Aa	34Aa	32Ab	35b	7Aa	5Ba	5Ba	6a	31	40	43	38	279Ab	136Bb	103Ba	173b	9Ba	15Ab	13Ac	12c
M NPK	45A	33B	32 B	29	7 A	5 B	5 B	4	43	40	40	52	310A	156B	124B	26	9 C	18 B	21 A	7
Valor de F																				
Lodo(L)	16,90 **				19,85 **				0,29 ns				72,96 **				112,26 **			
Cinza(C)	2,90 *				0,48 ns				1,26 ns				15,38 **				52,96 **			
LxC	2,18 ns				1,99 ns				2,03 ns				1,86 ns				21,56 **			
C.V%	20,65				14,07				29,08				26,55				16,38			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 19 – Nutrientes acumulados (mg) em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	mg planta ⁻¹																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	46Ba	51Ba	86Aab	61a	5Ba	23Ab	29Ab	19b	55Ba	101Ab	136Ab	98a	181Ca	281Bb	366Ab	276c	10Ca	16Bb	23Aa	16a	22Ca	35Bb	50Aab	36b
5	25Ca	50Ba	75Ab	50a	10Ca	23Bb	49Aa	27a	75Ca	131Bab	213Aa	140a	226Ba	255Bb	525Aa	335b	9Ca	16Bb	24Aa	16a	22Ca	35Bb	54Aa	37ab
10	42Ba	59ABa	80Aab	60a	13Ca	29Bab	43Aa	28a	93Ba	148Aa	182Aa	141a	227Ca	439Ba	514Aa	393a	10Ba	21Aa	21Aa	18a	23Ca	43Ba	50Ab	39ab
15	33Ba	49Ba	96Aa	60a	10Ca	33Ba	50Aa	31a	83Ba	171Aa	203Aa	152a	226Ba	405Aa	393Ab	341b	10Ca	17Bb	22Aa	16a	23Ca	41Ba	51Aab	38a
M	37C	52B	84A		9,5C	26,7B	42,7A		77C	138B	184A		215C	345B	450A		10C	18B	23A		23C	39B	51A	
NPK	297				176				856				1246				159				146			
Valor de F																								
Lodo(L)	42,81 **				92,62 **				57,85 **				101,76 **				141,81 **				451,58 **			
Cinza(C)	1,41 ns				7,37 **				8,80 **				12,74 **				1,22 ns				2,89 *			
LxC	1,02 ns				2,04 ns				1,41 ns				7,83 **				3,06 *				3,72 **			
C.V%	28,65				29,34				23,66				15,46				14,59				8,05			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 20 - Micronutrientes acumulados (mg) em galhos de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	mg.kg ⁻¹																			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	
0	0,9Ba	1,0Ba	1,8Aa	1,3a	0,13Ca	0,17Ba	0,21Ab	0,17a	1,0Ba	1,2Ba	1,7Aa	1,3ab	7,8Aa	6,7Aa	6,9Aa	7,2a	0,1Ca	0,9Ba	1,4Aa	0,8a
5	0,9Ba	1,0ABa	1,3Ab	1,1ab	0,11Ca	0,17Ba	0,27Aa	0,18a	0,8Ba	1,1aABa	1,5Aa	1,1b	5,3Ab	4,5Ab	5,2Ab	5,0b	0,2Ca	0,4Bb	0,9Ab	0,5b
10	0,9Aa	1,1Aa	1,1Ab	1,0b	0,13Ca	0,18Ba	0,24Aab	0,18a	0,8Ba	1,6Aa	1,9Aa	1,4a	4,8Ab	4,2Ab	4,9Ab	4,7b	0,2Ca	0,6Bb	0,8Ac	0,5b
15	0,8Ba	1,2Aa	1,4Ab	1,1ab	0,13Ba	0,16Ba	0,24Aab	0,18a	0,6Ba	1,4Aa	1,9Aa	1,3ab	5,6Ab	4,7Ab	4,5Ab	4,9b	0,2Ba	0,5Aab	0,6Ad	0,4c
M	0,9C	1,1B	1,4A		0,13C	0,17B	0,2A		0,8C	1,3B	1,8A		5,9B	5,0AB	5,4A		0,2C	0,6B	0,91A	
NPK				3,6				0,53				6,8				3,3				0,8
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	25,77 **				99,14 **				35,15 **				2,70 ns				247,86 **			
Cinza(C)	1,97 ns				1,34 ns				1,42 ns				16,03 **				39,37 **			
LxC	3,40 **				2,17 ns				1,38 ns				0,37 ns				18,57 **			
C.V%	22,13				14,05				28,01				20,69				18,75			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M = média.

6.5 Teores e acúmulos no tronco

Os resultados das análises químicas do tronco podem ser observados nas Figuras 15, 16, 17 e 18 e nas Tabelas 21, 22, 23 e 24. Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas para os teores de P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe e Zn (Tabelas 21 e 22) e acúmulos de P, K, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn (Tabelas 23 e 24). Observa-se efeito do lodo e das cinzas sem a interação entre elas no teor de Mn (Tabela 22). Mas quando observado seu acúmulo, o efeito foi apenas em função da aplicação das cinzas (Tabela 24). O lodo foi a causa da variação no teor de N (Tabela 21) e em seu acúmulo e no de Ca (Tabela 23). O teor de enxofre não sofreu influência nem da aplicação de lodo nem das cinzas (Tabela 21).

Conforme Gonçalves et al. (2000), a concentração dos nutrientes no tronco pode variar conforme a localização (casca, albarno e cerne), mas como descrito anteriormente na metodologia, na amostragem para a análise nutricional não houve separação entre as partes do tronco para este experimento. No tronco, é possível observar a diferença nos teores dos nutrientes para P, K, Ca, que foram superiores nos tratamentos com aplicação de lodo+cinzas. Para os micronutrientes B, Cu e Fe, os teores no tronco foram muito inferiores para os tratamentos com adubação inorgânica.

A adubação inorgânica (NPK+calagem) promoveu maior teor de Mg no tronco, provavelmente pela liberação de Mg pelo calcário e posterior absorção pelas plantas. Porém, quando analisa-se os valores acumulados de nutrientes no tronco, os acúmulos de P, K, Mg, S, B e Fe (Figuras 17 e 18), foram muito superiores com a adubação convencional (NPK) em relação aos demais tratamentos, indicando que esses valores estão relacionadas com a taxa de mineralização do composto, visto que nas análises químicas dos resíduos, todos os nutrientes estavam presentes em quantidades até superiores à adubação convencional e ainda assim não apresentando nenhum efeito restritivo apesar das altas dosagens dos resíduos, mas não sendo completamente aproveitados pelas plantas.

Conforme Poggiani (1985), o tronco normalmente apresenta menores concentrações de nutrientes em relação aos demais componentes das árvores (folhas, ramos e casca), mas, paradoxalmente, corresponde à aproximadamente 85% da biomassa total acumulada em árvores adultas. Esse mesmo autor, avaliando a exportação de nutrientes pela retirada do tronco em povoamento de 10 anos de *E. saligna*, encontrou resultados

equivalentes a: 137 kg de N; 42 kg de P; 163 kg de K; 714 kg de Ca e 46 kg de Mg por hectare. Silva (2006), avaliando o volume de madeira em *E. grandis* submetidos à aplicação de doses de lodo de esgoto seco e úmido com adição de K e B, obteve aumento de aproximadamente 130% se comparados à testemunha, valores que não diferiram em função de da umidade do material, sendo equivalentes à adubação mineral.

Segundo Gonçalves *et al.* (2000), durante o processo da colheita florestal, o tronco é o componente que mais contribui na exportação de nutrientes do solo, mas não foi o verificado neste experimento com plantas com seis meses de idade, pois comparando-se a produção de cada parte da planta (Tabelas 8 e 9 e Figura 7) os acúmulos dos nutrientes nas folhas (Tabelas 15 e 16), nos galhos (Tabelas 19 e 20), no tronco (Tabelas 23 e 24) e nas raízes (Tabelas 27 e 28), verifica-se que as maiores produções de biomassa e acúmulos de nutrientes foram observados nas folhas e raízes, talvez pela própria estratégia da planta na fase inicial de crescimento.

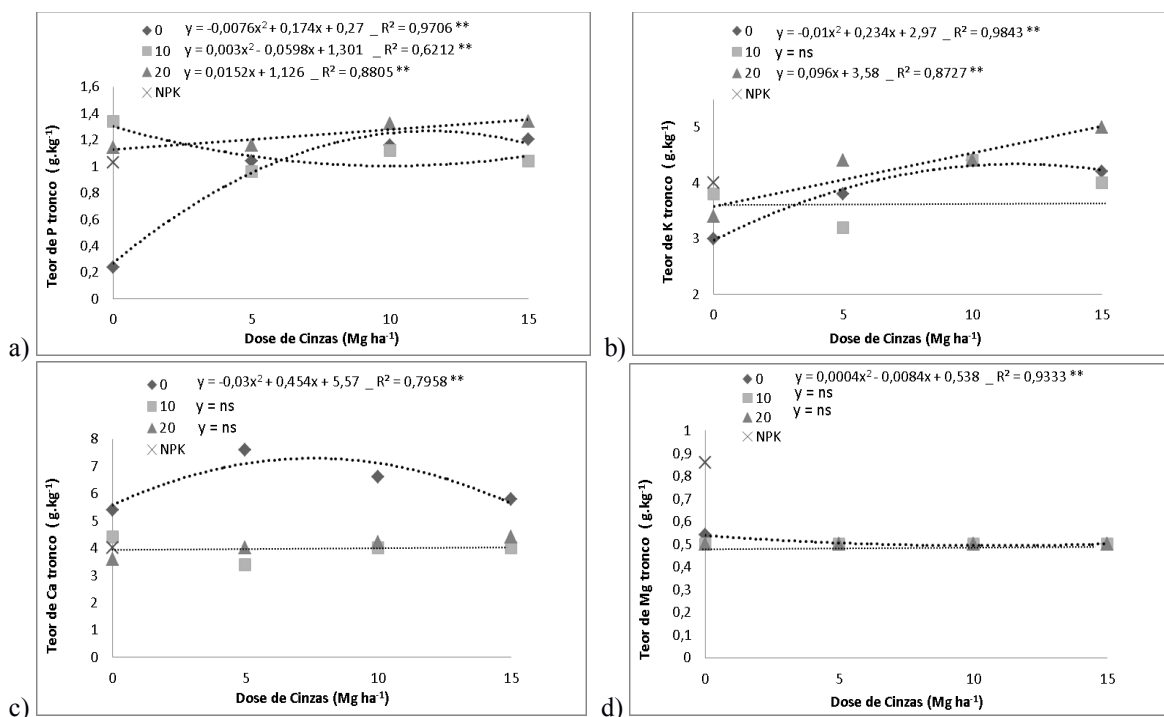


Figura 15- Ajuste da regressão para teores de fósforo (a); potássio (b); cálcio (c) e magnésio (d) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

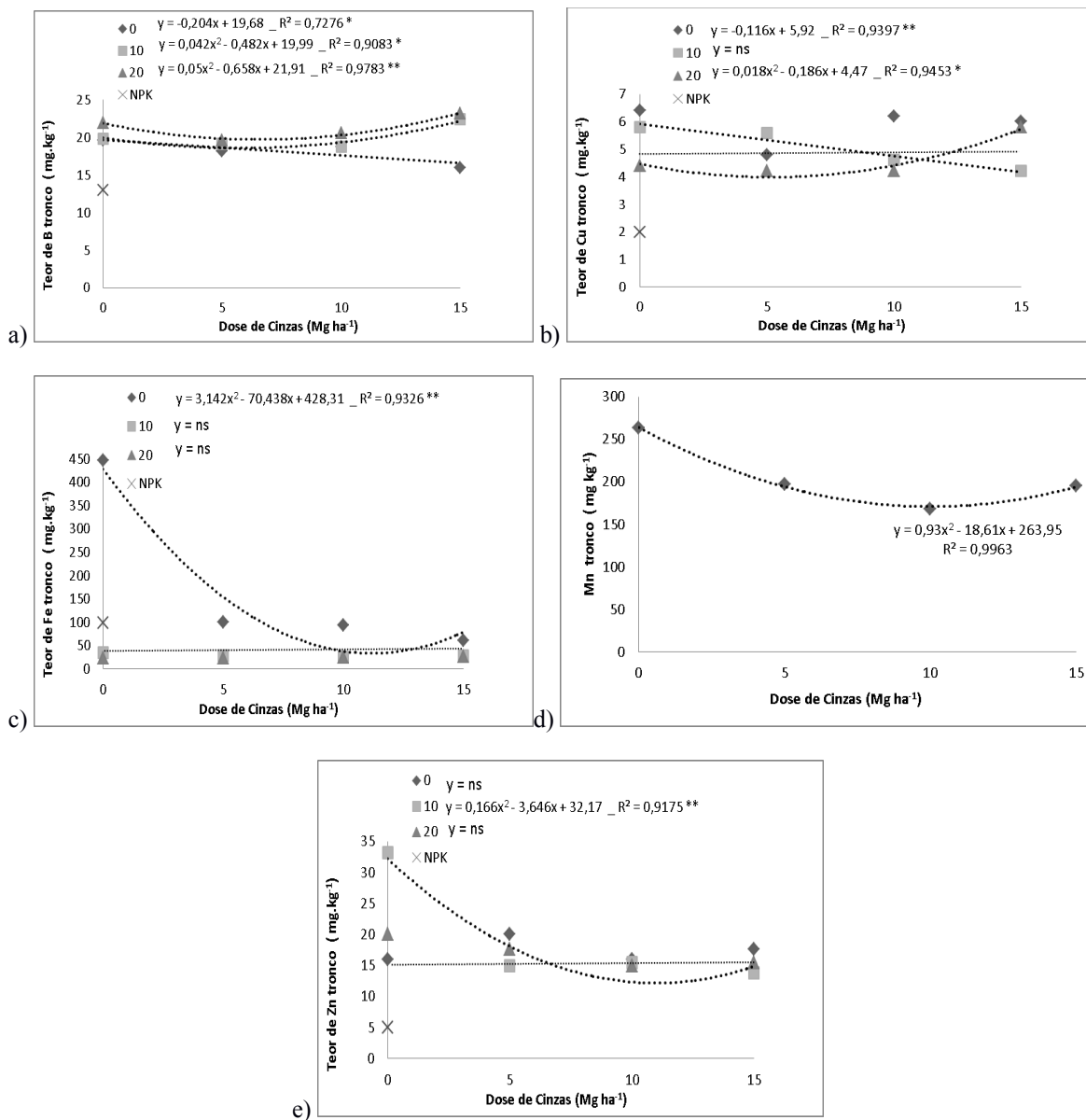


Figura 16- Ajuste da regressão para teores de boro (a); cobre (b); ferro (c) e zinco (e) e teor médio de manganês (d) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

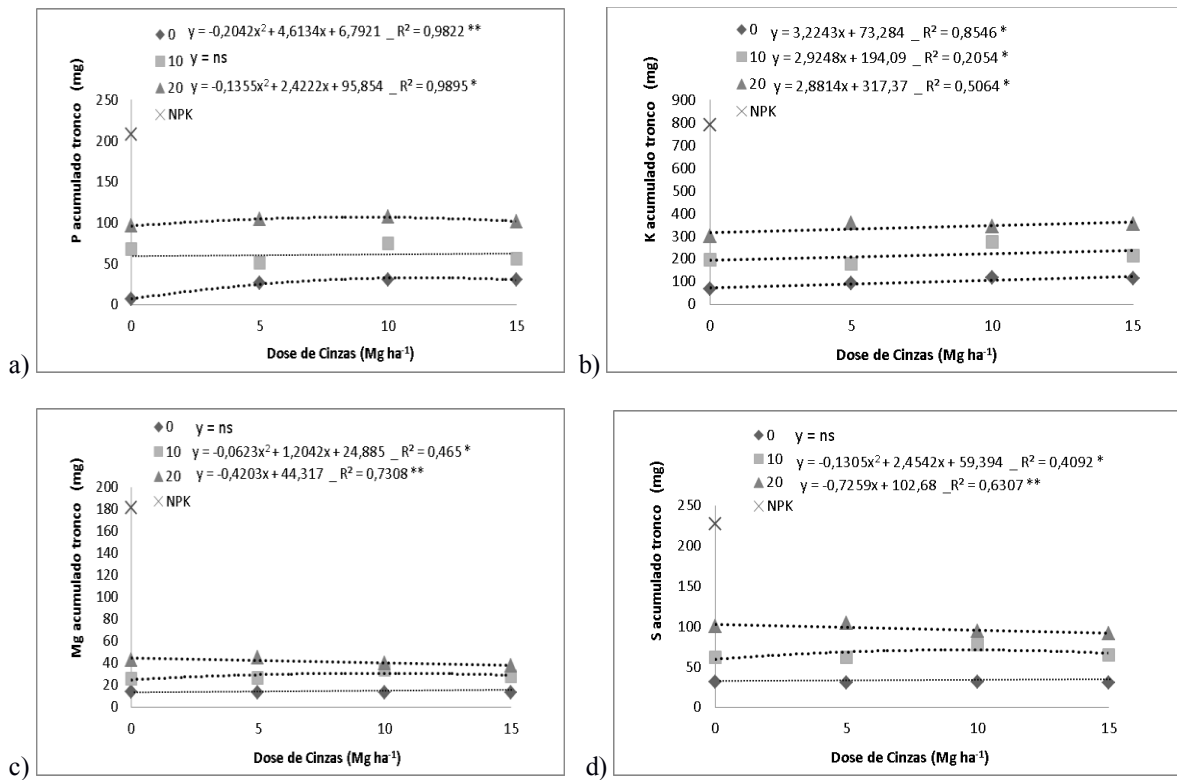


Figura 17- Ajuste da regressão para acúmulo de fósforo (a); potássio (b); magnésio (c) e enxofre (d) acumulados em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 $Mg\ ha^{-1}$).

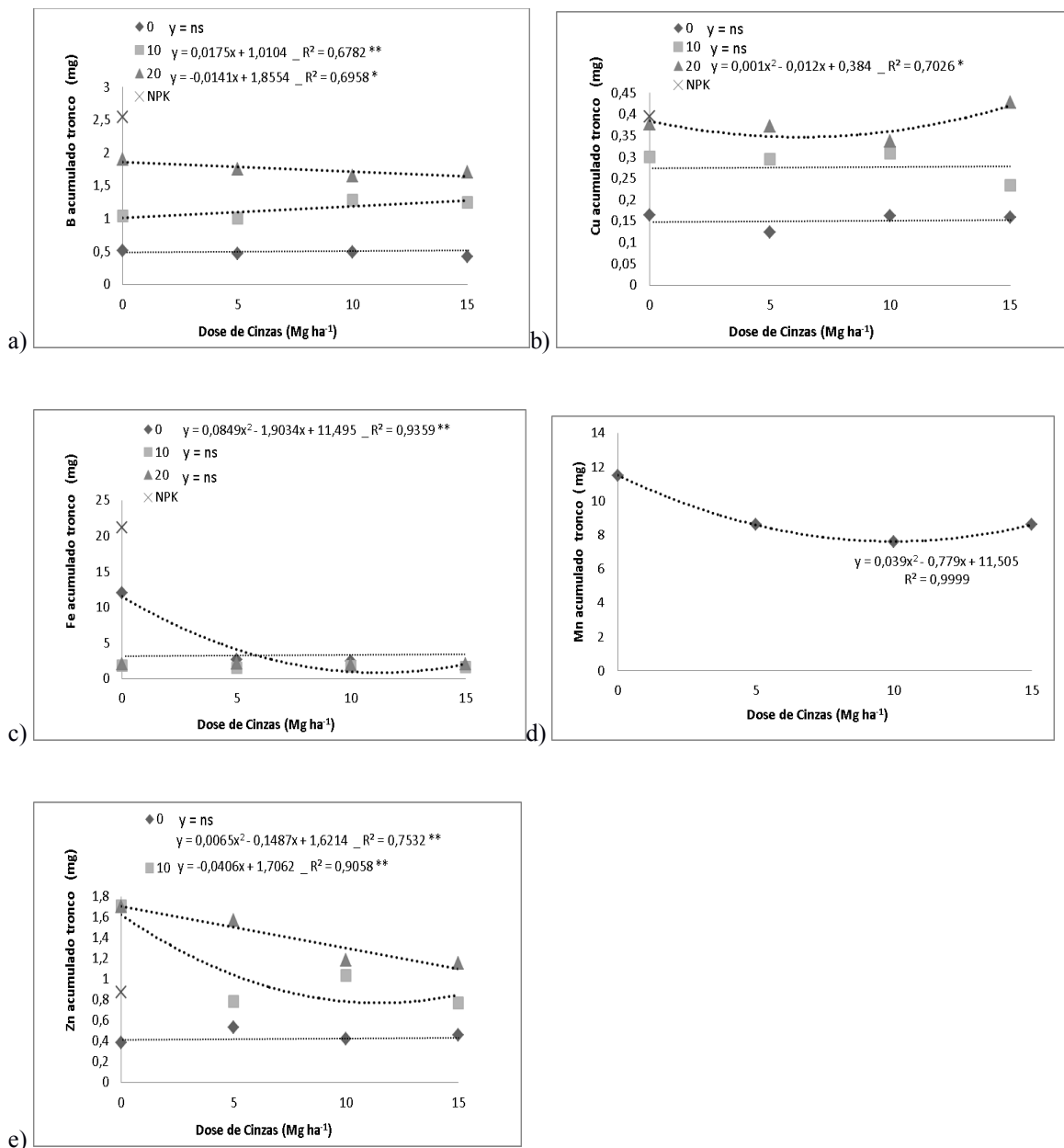


Figura 18- Ajuste da regressão para acúmulo de boro (a); cobre (b); ferro (c); manganês (d) e zinco (e) acumulados em tronco de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 21 - Teor de nutrientes em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	g.kg ⁻¹																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																							
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	1,6Aa	1,4Aab	1,0Aa	1,3ab	0,2Cc	1,3Aa	1,1Bb	0,9c	3Bb	3,8Aab	3,4ABb	3,4c	5,4Bb	4,4ABa	3,6Ba	4,5a	0,5Aa	0,5Ba	0,5Ba	0,5a	1,2	1,2	1,2	1,2
5	1,6ABa	2,0Aa	1,0Ba	1,5a	1,0ABb	1,0Bc	1,2Ab	1,1b	3,8ABa	3,2Bb	4,4Aa	3,8b	7,6Aa	3,4Ba	4Ba	5,0a	0,5Ab	0,5Aa	0,5Aa	0,5b	1,2	1,2	1,2	1,2
10	1,4Aa	1,4Aab	1,0Aa	1,3ab	1,2Bab	1,1Bb	1,3Aa	1,2a	4,4Aa	4,4Aa	4,4Aa	4,4a	6,6Aab	4,0Ba	4,2Aa	4,9a	0,5Ab	0,5Aa	0,5Aa	0,5b	1,2	1,2	1,2	1,2
15	1,2Aa	1,2Ab	1,0Aa	1,1c	1,2Ba	1,0Cbc	1,3Aa	1,2a	4,2Ba	4Ba	5Aa	4,4a	5,8Ba	4,4Aa	4,4Aa	4,9a	0,5Ab	0,5Aa	0,5Aa	0,5b	1,2	1,2	1,2	1,2
Média	1,5A	1,5A	1,0B		0,9C	1,1B	1,2A		3,9B	3,9B	4,3A		6,4A	4,1B	4,1B		0,5A	0,5A	0,5A		1,2	1,2	1,2	
NPK	1,8				1,0				4				4,6				0,9				1,2			
	Valor de F																							
Lodo(L)	6,24 **				47,31 **				6,02 **				35,56 **				2,67 ns				2,53 ns			
Cinza(C)	1,71 ns				24,59 **				16,05 **				0,87 ns				2,67 ns				1,42 ns			
LxC	0,75 ns				39,22 **				3,94 **				2,80 *				2,67 *				1,27 ns			
C.V%	37,45				9,95				11,84				20,67				3,14				2,72			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 22 - Teor de micronutrientes em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe mg.kg ⁻¹				Mn				Zn			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	20Aa	19,8Aa	22Aab	20,5ab	6Aa	6Aa	5Bb	6a	447Aa	35Ba	23Ba	169a	400Aa	251Ba	137Ca	263a	16Ba	33Aa	20Ba	23a
5	18Aab	19,2Aa	19,6Ab	19b	5ABb	6Aa	4Bb	5a	100Ab	29Aa	24Aa	51b	330Ab	160Bb	101Ca	197b	20Aa	15Ab	18Aa	18b
10	19Aa	18,8Aa	20,6Ab	19,4ab	6Aa	Bab	4Bb	5a	93Ab	26Aa	25Aa	48b	296Ab	112Bb	97Ba	168b	16Aa	15Ab	15Aa	16b
15	16Bb	22,4Ab	23,2Aa	20,5a	6Aab	5Bb	6Aa	5a	60Ab	28Aa	27Aa	38b	311Ab	149Bb	126Ba	195b	18Aa	14Ab	15Aa	16b
Média	18C	20B	21A		6A	5B	5B		175A	30B	25B		334A	168B	115C		17A	19A	17A	
NPK			13				2				99				30					4,6
									<u>Valor de F</u>											
Lodo(L)		12,50 **				7,91 **			19,20 **				133,03 **							1,12 ns
Cinza(C)		2,14 ns				1,48 ns			7,50 **				12,32 **							6,70 **
LxC		3,45 **				3,79 **			7,14 **				1,47 ns							4,99 **
C.V%		10,26				18,74			114,23				21,51							29,72

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M = média.

Tabela 23 – Nutrientes acumulados (mg) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas Mg.ha ⁻¹	N				P				K				Ca				Mg				S							
	----- mg -----																											
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																											
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M				
0	47Ba	69Bb	100Aa	72ab	6Cb	68Ba	96Ab	57c	68Cb	197Bb	301Ab	189c	137Ca	229Bab	311Aa	226a	13,6Ca	25,9Bb	43Aab	28ab	31Ca	62Bb	99Aab	64ab				
5	40Bab	109Aa	102Aa	84a	27Ca	51Bb	104Aab	60bc	93Cab	178Bb	358Aa	210bc	196Ba	179Bb	340Aa	239a	12,9Ca	26,2Bb	45Aa	28ab	30Ca	62Bb	104Aa	65ab				
10	38Ba	88Aab	94Aa	73ab	31Ca	74Ba	107Aa	71a	116Ca	275Ba	342Aab	244a	171Ba	276Aa	334Aa	260a	13,0Ca	33,8Ba	40Abc	29a	31Ca	78Ba	94Abc	68a				
15	37Ba	68Ab	88Aa	64b	31Ca	56Bb	102Aab	63b	113Ca	214Bb	354Aa	227ab	145Ca	242Ba	329Aa	239a	12,9Ca	27,9Bb	37Ac	26b	30Ca	65Bb	91Ac	62b				
M	40B	84A	96A		24C	62B	102A		98C	216B	339A		162C	232B	329A		13C	29B	41A		31C	66B	97A					
NPK	335				208				208				789				905				181				227			
<u>Valor de F</u>																												
Lodo(L)	42,37 **				555,94 **				262,94 **				65,29 **				539,32 **				605,62 **							
Cinza(C)	2,35 ns				9,56 **				7,71 **				1,40 ns				2,81 **				2,44 ns							
LxC	1,52 ns				7,58 **				2,74 *				2,19 ns				6,68 **				5,22 **							
C.V%	27,35				11,91				15,31				19,19				9,80				9,39							

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M = média.

Tabela 24 - Micronutrientes acumulados (mg) em tronco de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas Mg.ha ⁻¹	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	mg.kg ⁻¹																			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	0,5Ca	1,0Bbc	1,9Aa	1,2a	0,2Ca	0,3Ba	0,4Aab	0,3a	12Aa	1,8Ba	2,0Ba	5,3a	9,9Ba	12Aa	12ABa	12a	0,4Ba	1,7Aa	1,7Aa	1,3a
5	0,5Ca	1,0Bc	1,8Aab	1,1a	0,1Ca	0,3Bab	0,4Aab	0,3a	2,7Ab	1,5Aa	2,1Aa	2,1b	8,5Aa	8,4Ab	8,9Ab	9b	0,5Ba	0,8Bb	1,6Aa	1,0b
10	0,5Ca	1,3Ba	1,6Ab	1,1a	0,2Ba	0,3Aa	0,3Ab	0,3a	2,4Ab	1,7Aa	1,9Aa	2,0b	7,7Aa	7,4Ab	7,7Ab	8b	0,4Ba	1,0Ab	1,2Ab	0,9b
15	0,4Ca	1,2Bab	1,7Aab	1,1a	0,2Ca	0,2Bb	0,4Aa	0,3a	1,6Ab	1,6Aa	2,0Aa	1,7b	8,1Aa	8,2Ab	9,4Aab	9b	0,5Ca	0,8Bb	1,2Ab	0,8b
M	0,5C	1,1B	1,8A		0,2C	0,3B	0,4A		4,7A	2,0B	1,7B		8,5A	9,3A	9,4A		0,5C	1,1B	1,4A	
NPK				2,6				0,4				21				6,0				0,9
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	323,96 **				107,41 **				6,99 **				1,44 ns				83,16 **			
Cinza(C)	0,67 ns				0,31 ns				5,48 **				13,81 **				11,26 **			
LxC	2,86 *				2,91 *				5,17 **				1,21 ns				6,44 **			
C.V%	14,21				18,03				99,32				19,10				24,41			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

6.6 Teores e acúmulos nas raízes

Os resultados das análises químicas das raízes de eucalipto podem ser observados nas Figuras 19, 20 e 21 e nas Tabelas 25, 26, 27 e 28. Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas para os teores de P, Mg, S, Cu e Mn (Tabelas 25 e 26) e acúmulos de N, B, Cu e Fe (Tabelas 27 e 28 e Figuras 19, 20 e 21). Observa-se efeito do lodo e das cinzas, sem a interação entre eles para os teores de Ca e B (Tabelas 24 e 25) e acúmulos de P, K, Ca, Mg e S (Tabela 27). Apenas o teor de K foi influenciado apenas pela aplicação de cinzas (Tabela 25). O lodo foi a única causa de variação dos teores e acúmulos de Zn (Tabelas 26 e 28). O teor de N e o teor de Fe e o acúmulo de Mn não sofreram influência de nenhum dos tratamentos (Tabelas 25, 26 e 28). Quando comparados com a adubação convencional (NPK), os teores de P e Mg e os acúmulos de N, B e Fe foram muito superiores aos demais tratamentos.

O maior crescimento das raízes (Tabela 9, 27 e 28) também pode ser explicado pela fase de crescimento das plantas, onde Gonçalves et al.(2000 b) descrevem o que acontece antes do fechamento das copas, quando as plantas alocam grande quantidade de fotoassimilados e nutrientes existentes em sua copa para a síntese de raízes. As raízes são muito importantes para os ciclos biogeoquímicos, pois estão responsáveis pela absorção dos nutrientes pelas plantas, estando diretamente relacionadas com a transferência de nutrientes para o sistema solo-planta-serrapilheira, iniciando o processo de incorporação de biomassa pela planta.

Devido à dificuldade de mensuração, poucos são os trabalhos publicados que avaliam a produção e aspectos nutricionais das raízes. Vaz & Gonçalves (2002), avaliando o efeito de lodo de esgoto no crescimento de *E. grandis*, observaram que a resposta à aplicação aumenta com a idade do povoamento, acarretando efeitos benéficos decorrentes da solubilização e mineralização de componentes do resíduo, além do aumento do volume de solo explorado pelas raízes, que aumenta ainda mais o acesso aos nutrientes, dessa forma, em função deste experimento ser avaliado na fase inicial de crescimento, não foi possível verificar outras relações nutricionais. De modo geral, foram muito superiores os valores obtidos com a adubação inorgânica (NPK) em relação aos demais tratamentos, indicando também pela nutrição das raízes que esses valores estão relacionadas com a taxa de

mineralização do composto não apresentando nenhum efeito restritivo apesar das altas dosagens dos resíduos.

As raízes são importantes compartimentos de armazenamento de carbono e nutrientes, principalmente em espécies florestais, pois permanecem nas áreas de plantio após a colheita, ou seja, apesar de pouco consideradas, representam um grande potencial de estudos. Pesquisas realizadas por Fernandes et al. (2007), quantificando o carbono estocado em seringueira, mostraram valores em torno de 31,1% do total deste elemento estão estocados nas raízes.

Ferraz & Poggiani (2014) analisando a biomassa, concentração de nutrientes e metais pesados em raízes de eucalipto aos 42 meses, adubados com diferentes lodos de esgoto, obtiveram concentrações similares de N em todos os tratamentos. Conforme Laclau et al (2000) a concentração de nutrientes e seus acúmulos nos diferentes compartimentos dos eucaliptos variam conforme a idade, tipo de clone e fertilidade do solo. Ferraz & Poggiani (2014) observaram que a concentração de nutrientes nas raízes estava diretamente relacionada com a quantidade do elemento disponível nos diferentes tipos de lodo. O Zn, por exemplo, atribuído principalmente por descartes industriais na rede coletora de esgoto, ressaltando a importância do gerenciamento dos resíduos.

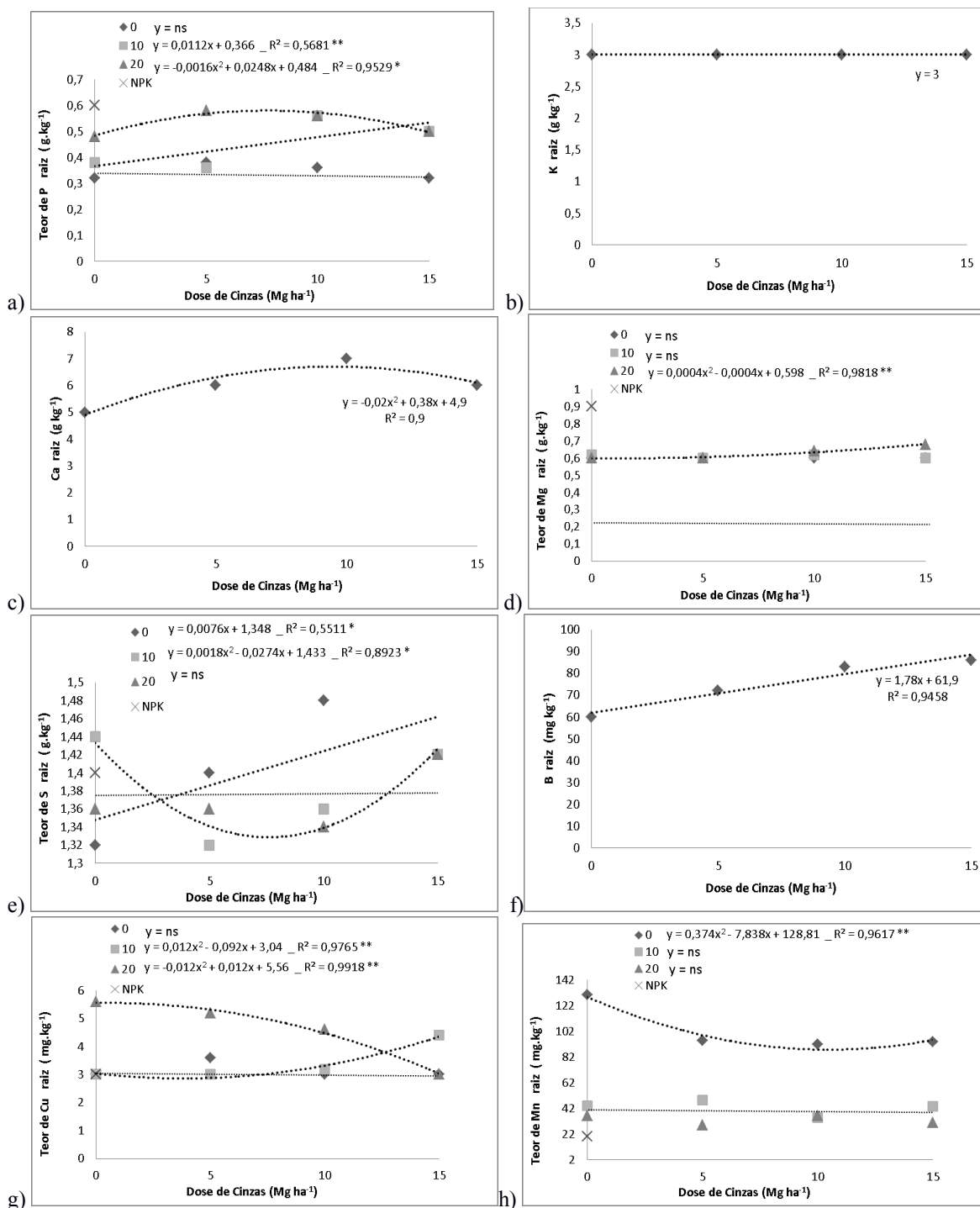


Figura 19- Ajuste da regressão para teores de P (a); Mg (d); S (e); cobre (g) e Mn (h) e teores médios de K (b); Ca (c) e B (f) em raízes de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

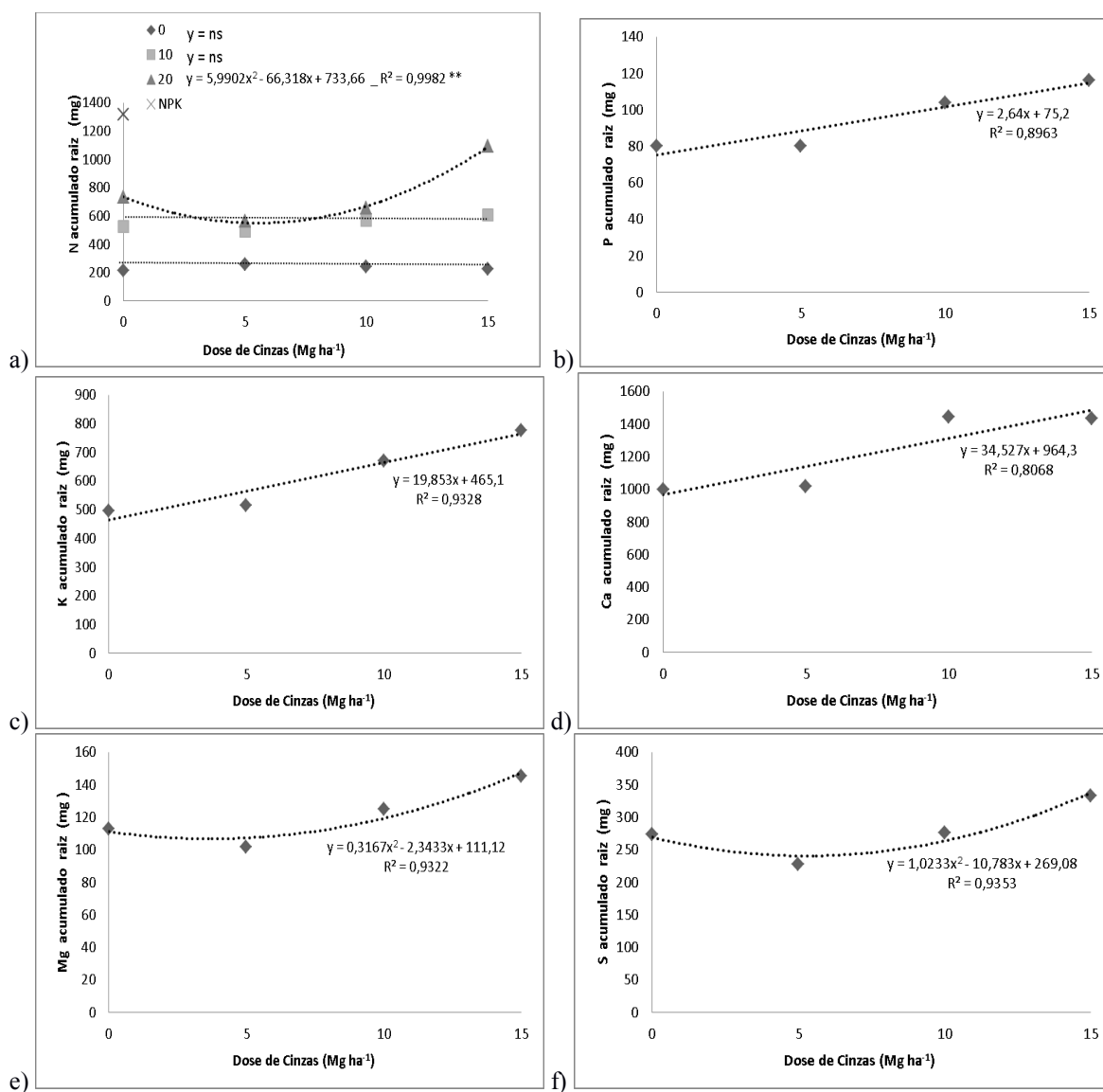


Figura 20- Ajuste da regressão para acúmulo de N (a) e teores médios acumulados de P (b); K (c); Ca (d); Mg (e) e S (f) acumulados em raízes de eucalipto com 6 meses, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹)

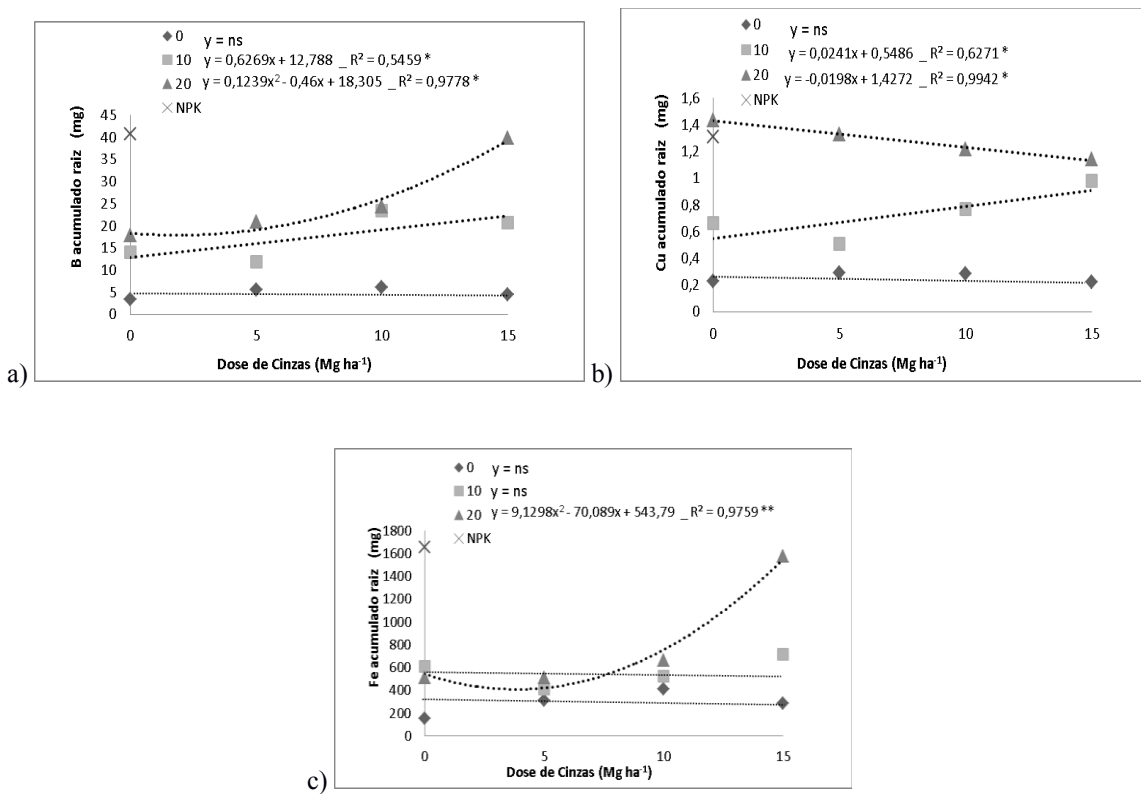


Figura 21- Ajuste da regressão para acúmulo de B (a); cobre (b) e Fe (c) acumulados em raízes de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 26 - Teor de micronutrientes em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe mg.kg ⁻¹				Mn				Zn			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M
0	40Bb	69Ab	70Ac	60c	3Ba	3Bb	6Aa	4a	1988	3231	1921	2380	130Aa	44Ba	36Ba	70a	15Ca	27Ba	45Aa	29a
5	66Aa	68Ab	83Abc	72b	4Ba	3Bb	5Aab	4a	3620	2440	1962	2674	95 Ab	49Ba	29Ca	58b	13Ba	34Aa	37Aa	28a
10	65Ba	94Aa	90Aab	83ab	3Ba	3Bb	5Ab	4ab	3794	2088	2499	2794	92 Ab	35Ba	36Ba	54b	15Ca	29Ba	43Aa	29a
15	59Ba	92Aa	108Aa	86a	3Ba	4Aa	3 Bc	4b	4045	3093	4036	3725	94 Ab	44Ba	31Ba	56b	19Ba	26ABa	38Aa	28a
M	57B	81A	88A		3B	3B	5A		3362	2713A	2604A		103A	43B	33C		15C	29B	41A	
NPK				87				3				3708				20				8
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	23,22 **				48,21 **				0,96 ns				198,82 **				35,50 **			
Cinza(C)	9,81 **				2,92 *				1,45 ns				5,35 **				0,07 ns			
LxC	1,91 ns				17,10 **				0,81 ns				4,02 **				0,90 ns			
C.V%	19,64				13,43				64,68				20,12				33,38			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 27- Nutrientes acumulados (mg) em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	mg																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																							
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	214Ba	526Aa	730Ab	490b	25Ba	85Aab	130Ab	80b	190Ba	538Aab	760Ab	496b	396Ba	1073Aab	1529Ac	999b	46Ba	135Aa	158Ab	113b	102Ba	313Aa	405Ab	258b
5	258Ba	492Aa	563Ab	438b	31Ba	63Bb	146Ab	80b	251Ba	422Bb	873Ab	516b	474Ba	908Bb	1671Abc	1018b	50Ca	102Ba	153Ab	101b	114Ba	224Ba	346Ab	228b
10	241Ba	571Aa	658Ab	490b	31Ba	133Aa	148Ab	104ab	284Ba	801Aa	922Ab	669ab	525Ca	1547Ba	2257Aab	1443a	56Ba	148Aa	171Ab	125ab	140Ba	330Aa	359Ab	276ab
15	223Ca	607Ba	109Aa	640a	26Ca	113Bab	209Aa	116a	217Ca	818Ba	1292Aa	776a	398Ca	1462Bab	2439Aa	1433a	45Ca	141Ba	250Aa	145a	106Ca	336Ba	558Aa	333a
M	234C	549B	760A		28C	99B	158A		235C	644B	962A		448C	1247B	1974A		49C	131B	183A		116C	301B	405A	
	Valor de F																							
Lodo(L)	43,08 **				50,18 **				40,04 **				46,86 **				57,29 **				48,10 **			
Cinza(C)	3,51 *				2,91 *				3,98 *				3,71 *				3,33 *				3,32 *			
LxC	2,54 *				1,76 ns				1,52 ns				1,09 ns				2,28 ns				2,10 ns			
C.V%	35,09				43,31				41,93				40,77				32,93				34,54			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 28 - Micronutrientes acumulados (mg) em raízes de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	mg.kg ⁻¹																			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	3,3Ba	14,1Abc	17,7Ab	12b	0,2Ca	0,7Bb	1,4Aa	0,8a	151Ba	608Aa	513ABb	424b	9,9	10,8	9,8	10,2	1,1Ca	5,8Ba	12Aab	6,1a
5	5,5Ba	11,8Bc	20,8Ab	13b	0,3Ba	0,5Bb	1,3Aa	0,7a	312Aa	414Aa	514Ab	413b	7,9	8,2	7,5	7,9	1,1Ba	6,3Aa	9Ab	5,5a
10	6,1Ba	23,5Aa	24,4Ab	18a	0,3Ca	0,8Bab	1,2Aa	0,8a	415Aa	521Aa	664Ab	533b	8,9	7,9	9,4	8,7	1,4Ca	6,9Ba	11Aab	6,5a
15	4,4Ca	20,6Bab	39,8Aa	22a	0,2Ba	1,0Aa	1,1Aa	0,8a	285Ca	717Ba	1577Aa	860a	7,0	10,3	11,9	9,7	1,4Ca	6,1Ba	14Aa	7,2a
Média	4,8C	17,5B	25,7A		0,3C	0,7B	1,3A		291C	565B	817A		8,4	9,3	9,7		1,3C	6,3B	11,5A	
NPK				41				1,3				1657				7,9				3,5
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	66,16 **				92,89 **				13,67 **				0,53 ns				64,80 **			
Cinza(C)	9,71 **				0,28 ns				6,44 **				1,05 ns				1,02 ns			
LxC	4,72 **				2,36 *				3,94 **				0,63 ns				0,97 ns			
C.V%	36,09				31,41				51,11				42,98				44,72			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

6.7 Total de nutrientes acumulados pela planta

Os resultados do acúmulo total de nutrientes por planta podem ser observados na Figura 22 e nas Tabelas 29 e 30. Houve interação significativa entre as doses de lodo e cinzas apenas para o acúmulo de Cu (Tabela 30 e Figura 22-c).

Observa-se efeito do lodo e das cinzas, sem a interação entre elas para o acúmulo total de P, Ca e Mn (Figura 22). O lodo foi a causa de variação dos acúmulos totais de N, K, Mg, S, B e Fe. Neste experimento, verificou-se, entretanto, que a concentração de Zn nas folhas dos eucaliptos não ultrapassou o valor de 15 mg kg^{-1} (Figura 11-d), mesmo nas doses mais elevadas de lodo aplicadas. Segundo Bellote & Silva (2000), essa concentração pode ser considerada como normal em plantios comerciais de eucaliptos. É possível que o excesso de zinco contido no lodo de esgoto seja imobilizado na matéria orgânica do solo e também estocado no sistema radicular das árvores.

Darolt & Osaki (1991-b) estudando diversos tipos de cinzas como adubo, verificaram que as cinzas de eucalipto são ricas em P e Ca, que também pode ser verificado neste experimento. Os referidos autores relataram que na dose de 20 Mg.ha^{-1} de cinzas o Mg ficou pouco disponível às plantas, mas que a utilização de cinzas melhorou a fertilidade do solo e os teores de macro e micronutrientes no solo, principalmente Cu, Zn, Mg e Fe. Uma tendência em ambos experimentos é que doses elevadas de cinzas observa-se aspectos restritivos, como ocorreu neste experimento, onde até a dose de 10 Mg.ha^{-1} de cinzas, houve o fator acréscimo, mas acima disso, para a dose de 15 Mg.ha^{-1} , começa a ser observado redução do valor acumulado.

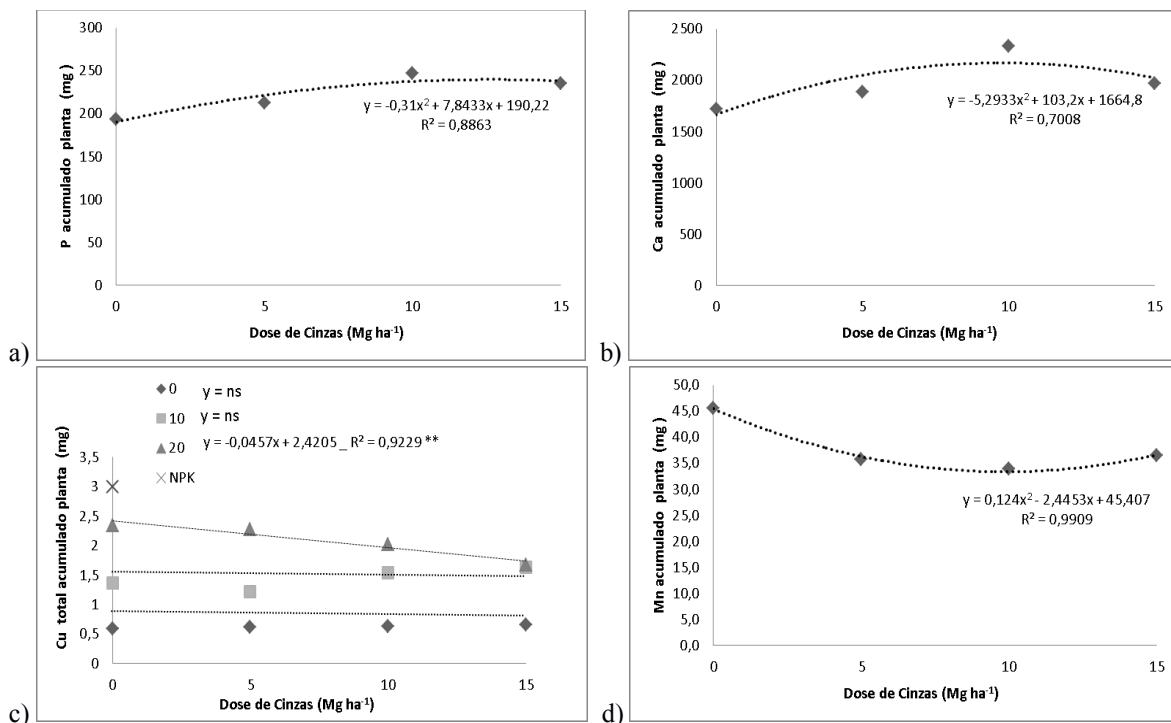


Figura 22- Teores médios de P (a); Ca (b) e Mn (d) e ajuste da regressão para cobre (c) total acumulados em plantas de eucalipto com 6 meses de idade, submetidos à aplicação de doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado (0, 10 e 20 Mg ha⁻¹).

Tabela 29 – Total de macronutrientes acumulados (mg) em plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	mg planta ⁻¹																							
	N				P				K				Ca				Mg				S			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																							
	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M	0	10	20	M
0	400Ca	886Ba	1336Aa	874a	45Ca	213Bbc	322Aa	193b	447Ca	1102Ba	1660Aa	1070a	781Ca	1805Bbc	2573Ab	1720b	94Ca	253Bab	363Aa	237a	179Ca	484Ba	641Aa	435a
5	403Ca	906Ba	1288Aa	866a	80Ca	179Bc	378Aa	213ab	486Ca	1088Ba	1669Aa	1081a	1023Ba	1588Bc	3041Aab	1884b	98Ca	216Bb	372Aa	229a	194Ca	405Ba	647Aa	416a
10	356Ba	1011Aa	1326Aa	898a	81Ca	291Ba	369Aa	247a	440Ca	1306Ba	1699Aa	1148a	921Ca	2589Ba	3486Aa	2332a	96Ca	296Ba	370Aa	254a	197Ba	550Aa	624Aa	457a
15	380Ba	1012Aa	1278Aa	890a	79Ca	256Bab	370Aa	235a	461Ba	1271Aa	1650Aa	1128a	871Ba	2426Aab	2604Ab	1967ab	95Ba	276Aab	337Aa	236a	189Ba	535Aa	615Aa	446a
M	385C	954B	1307A		71C	235B	360A		459C	1192B	1670A		899C	2102B	2926A		96C	260B	360A		190C	494B	632A	
NPK				3152				784				3947				5030				1125				1223
	<u>Valor de F</u>																							
Lodo(L)		63,49 **				158,99 **				81,58 **				59,65 **				121,93 **				70,37 **		
Cinza(C)		0,05 ns				3,28 *				0,23 ns				2,88 *				0,60 ns				0,32 ns		
LxC		0,19 ns				1,57 ns				0,26 ns				1,62 ns				0,93 ns				0,62 ns		
C.V%		29,62				23,13				27,28				29,88				22,67				27,47		

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**) = significativo a 1%; (*) = significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

Tabela 30 – Total de Micronutrientes acumulados (mg) em plantas de eucalipto com 6 meses de idade conduzidos em Latossolo Vermelho (LV), em função de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011).

Dose de Cinzas (Mg.ha ⁻¹)	B				Cu				Fe				Mn				Zn			
	mg.planta ⁻¹																			
	Dose de Lodo de Esgoto Compostado (Mg.ha ⁻¹)																			
	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M	<u>0</u>	<u>10</u>	<u>20</u>	M
0	5,3Ba	17,9Abc	25,5Aa	16,1b	0,6Ca	1,4Bab	2,3Aa	1,4a	165Aa	613Aa	520Aa	433a	37Ba	49Aa	51Aa	46a	1,8Ca	9,2Ba	16,2Aa	9a
5	7,7Ba	16,2Bc	28,2Aa	17,4ab	0,6Ca	1,2Bb	2,3Aa	1,4a	317Aa	419Aa	522Aa	420a	31Ba	34ABb	42Aab	36b	1,9Ca	8,0Ba	12,8Aab	8a
10	7,5Ba	29,3Aa	31,6Aa	22,8a	0,6Ca	1,5Bab	2,0Aab	1,4a	336Aa	527Aa	671Aa	511a	28Ba	34ABb	40Ab	34b	1,9Ca	9,0Ba	13,9Aab	8a
15	7,2Ba	27Aab	32,9Aa	22,4a	0,7Ba	1,6Aa	1,7Ab	1,3a	288Ba	723ABa	957Aa	656a	30Ba	37ABb	42Aab	37b	2,2Ba	7,9Aa	11Ab	7a
M	7C	22B	29,6C		0,6C	1,4B	2,1A		276B	571A	668A		31,5C	38,3B	43,8A		1,9C	8,5B	13,5A	
NPK				51				3,0				1649				31,8				6,1
	<u>Valor de F</u>																			
Lodo(L)	41,19 **				122,18 **				5,42 **				12,05 **				52,66 **			
Cinza(C)	2,65 ns				0,37 ns				1,16 ns				6,53 **				0,92 ns			
LxC	0,80 ns				3,52 **				0,48 ns				0,26 ns				0,58 ns			
C.V%	41,04				21,44				77,50				20,93				44,71			

Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na linha e minúscula na coluna, pelo teste LSD a 5%; (**)= significativo a 1%; (*)= significativo a 5% e (ns) = não significativo; M= média.

6.8 – Avaliação das Substâncias Húmicas

Os espectros obtidos das amostras de ácido húmico extraídas dos solos com seus respectivos tratamentos com as doses de lodo de esgoto e cinzas podem ser verificados nas Figura 23 e 24 e na Tabela 31.

Os resultados obtidos neste experimento são semelhantes aos encontrados por Bertoni (2002) e Dias et al. (2007) que estudaram o impacto da adição de lodo de esgoto e influência sobre as substâncias húmicas de Latossolo. Como citado anteriormente, o teor inicial de M.O no solo foi superior na instalação do experimento (Tabela 1) e inferior 6 meses após o plantio (Tabela 10), indicando que foi mineralizada durante o crescimento das plantas. Isso evidencia o efeito “priming” relacionado com a sucessão de comunidades microbianas e funções, afetando diretamente a disponibilidade de C e N e consequentemente, a dinâmica da M.O. e das SHs, uma vez que constituem o produto final de decomposição de resíduos. Além disso a sua alta complexidade química, forte interação com a fração coloidal inorgânica do solo e sua lenta decomposição.

Comparando os espectros entre os solos, verifica-se que de um modo geral apresentam a mesma tendência, com picos de algumas regiões variando em intensidade e com algumas variações nas frequências de absorvância, sendo uma característica similar entre os espectros a presença de uma larga banda de absorção. Pode-se verificar que a faixa 3750-3400 cm^{-1} aparece em todos tratamentos. Benites (1998) verificou a redução de picos nesta banda após a purificação dos AHs. Esta banda não interfere nas demais e está reduzida quando comparada com as de AHs não purificados, revelando que a purificação dos AHs deste experimento foi eficiente.

Nguyen et al. (2004a) usaram o modelo stepwise de regressão para prever parâmetros de mineralização de N por meio de incubação aeróbia de 12 solos de planície que vinham sendo cultivados com arroz. Observaram que a predição foi melhorada quando as variáveis independentes da regressão incluíram não apenas as propriedades do solo, tal como o N total do solo, mas também propriedades e quantias de frações específicas de AH

em cada solo. Estes resultados mostram a relevância da extração química das frações dos AH para um melhor entendimento do processo/nível da mineralização do N do solo.

Para a identificação das substâncias encontradas nas amostras, utilizou-se o esquema proposto por Lopes e Fascio (2004), baseado na identificação inicial de grupamento carbonila (C=O, 1820-1630 cm^{-1}) e posterior caracterização dos demais grupos presentes. Todas as amostras apresentaram os seguintes grupos que também estavam presentes no tratamento testemunha: grupo carbonila, ácidos carboxílicos (3200-2500 cm^{-1}); amidas (N-H na faixa 3500-3070 cm^{-1}); C=O na faixa de 1820-1630 cm^{-1} ; C-H₂ na faixa de 1440-1430 cm^{-1} ; grupos de halogênios (1400-500 cm^{-1}); grupo anidrido C-O (1300-1000 cm^{-1}).

Não foram encontrados em nenhuma das amostras moléculas de benzeno e derivados (δ C-H fora do plano) e nem aldeídos (2830-2700 cm^{-1}). Com exceção do tratamento testemunha e do tratamento equivalente à 15Mg.ha⁻¹ de cinzas de biomassa, em todos os demais tratamentos foram encontrados moléculas de N-H na faixa de 1580-1495 cm^{-1} . Por outro lado, a faixa de 1390 -1370 cm^{-1} , referente ao grupamento de C-H₃ foi encontrada apenas no tratamento equivalente à dose de 5Mg.ha⁻¹ de cinzas de biomassa.

A banda dos alifáticos ocorre em 2920-2928 cm^{-1} e em 2850-2855 cm^{-1} para estiramento assimétrico e simétrico, respectivamente, de C-H alifático. Observa-se que estas bandas estavam presentes em todos os tratamentos, indicando que apesar das elevadas doses de lodo e cinzas, não difereriram da testemunha. Entre 1.710 - 1.725 cm^{-1} a banda de absorção revela a presença de vibrações assimétricas de estiramento C=O, de cetonas, quinonas e dos ácidos COOH. Uma banda a 1650 cm^{-1} aparece apenas no tratamento com 5 Mg.ha⁻¹ de Cinzas (Figura 23-c) e refere-se ao estiramento assimétrico de íons carboxilatos (COO⁻).

Pinheiro *et al.* (2010), avaliando a nutrição de mudas um clone de eucalipto em função da concentração de C-ácido húmico na solução nutritiva, em casa de vegetação, obtiveram maior produção de matéria seca de raiz, folha, caule e total nas menores doses, indicando que as fontes de ácidos húmicos que eles utilizaram não são aconselhadas em soluções nutritivas. Para o presente estudo, pode-se apenas inferir que houve diferença no crescimento das plantas com as maiores doses de cinzas e de lodo de esgoto compostado, mas este não pode ser relacionado com a composição das substâncias húmicas (Tabela 31). Com

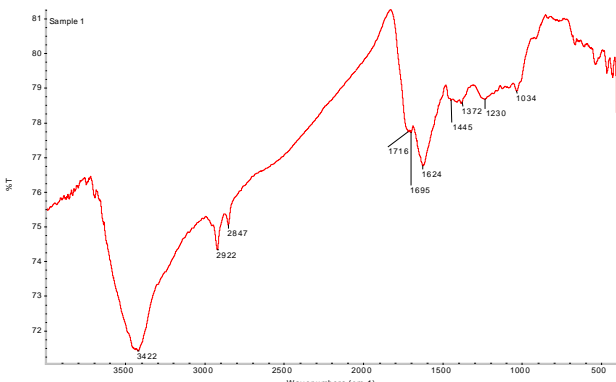
exceção das moléculas N-H presentes no tratamento com maior crescimento das plantas, todos os demais componentes também estavam presentes na testemunha, indicando também que essas dosagens e o tempo avaliado não foram suficientes para observar a influência das SH no crescimento inicial de eucalipto.

O trabalho de Nguyen et al. (2004b), mostra que a taxa de mineralização do N de AH adicionados a diferentes solos reduziu exponencialmente com o incremento no grau de humificação desses compostos. Estimativas do N potencialmente mineralizável em Latossolos e Neossolos de Goiás indicam que essa fração representou menos que 2% do N total dos solos, sendo maior em solo sob vegetação nativa, seguido por solo sob plantio direto e, finalmente, por solo sob plantio convencional (Kliemann & Buso, 2002). Segundo Devêvre & Horwáth (2001), a estabilização do N-fertilizante nas SH é substancialmente menor em áreas inundadas e a temperatura é fator importante nesse processo, sendo que com o aumento de temperatura menos N-fertilizante é estabilizado. Os autores acreditam que precursores de SH que contêm N ciclam mais rapidamente em maiores temperaturas dando menos oportunidade para estabilizarem como SH.

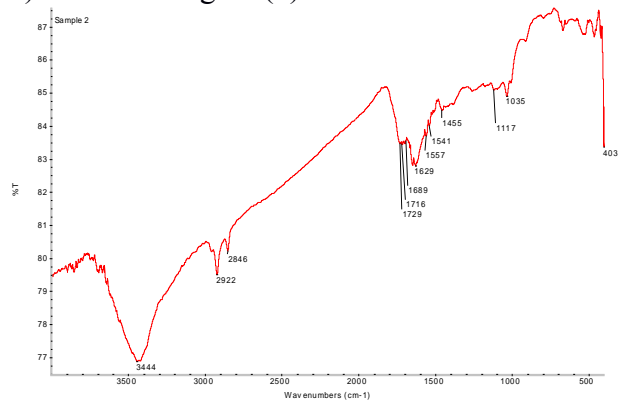
O tratamento 10Mg L.E.C+ 5Mg Cinzas (Tabela 31 e Figura 23-f) foi o que apresentou maior diversidade de picos, indicando que a composição dessas doses promoveu uma maior formação de moléculas, indicando um potencial na composição das SH.

O entendimento do comportamento das SH no solo é componente chave para a compreensão da dinâmica dos nutrientes no solo e sua disponibilidade para as culturas. Contudo, o fato das SH constituírem uma fração das MOS que não tem estrutura química definida e, ainda, serem muito diferentes em função de sua origem, torna-se complicado estabelecer relações entre as SH e os atributos do solo que afetam a disponibilidade de nutrientes para as plantas, o que impossibilita possíveis estimativas. Os efeitos da aplicação direta de SH isoladas são indiscutíveis; contudo são muito variáveis em função da substância em que estas foram extraídas e também da cultura. Existe a necessidade de mais informações a esse respeito, considerando as substâncias húmicas e disponibilidade de nutrientes para as plantas.

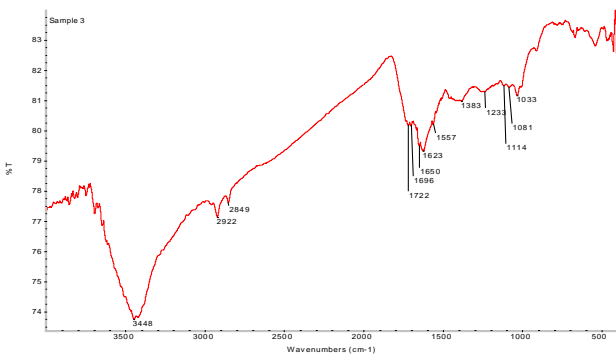
a) Testemunha absoluta (1)



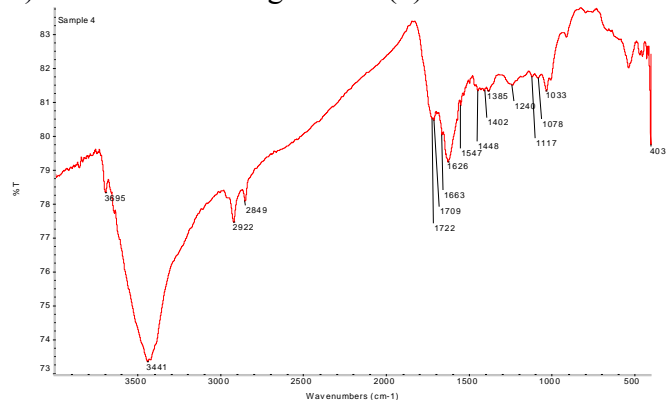
b) NPK + Calagem (2)



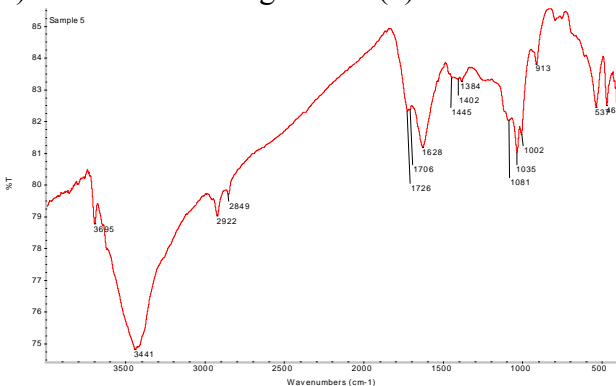
c) Sem lodo + 5 Mg Cinzas (3)



d) Sem lodo + 10 Mg Cinzas (4)



e) Sem lodo + 15 Mg Cinzas (5)



f) 10 Mg L.E.C. + 5 Mg Cinzas (6)

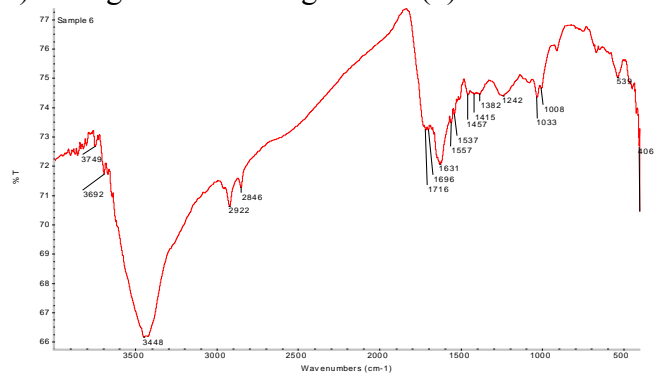
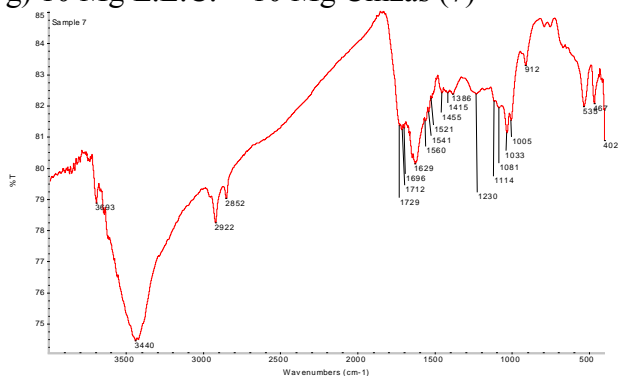
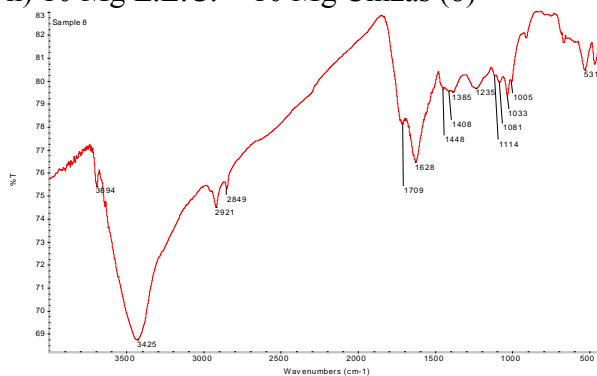


Figura 23- Espectros (em cm-1) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses sob aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e cinzas.

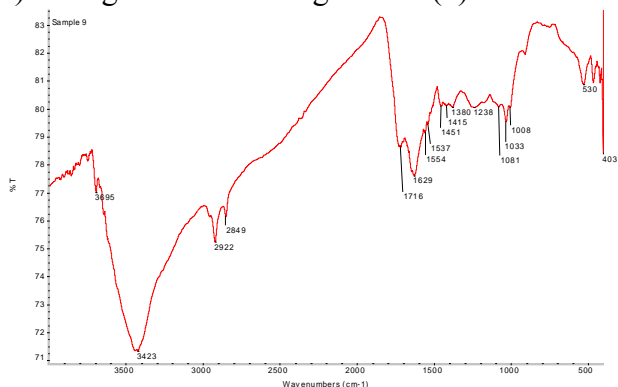
g) 10 Mg L.E.C. + 10 Mg Cinzas (7)



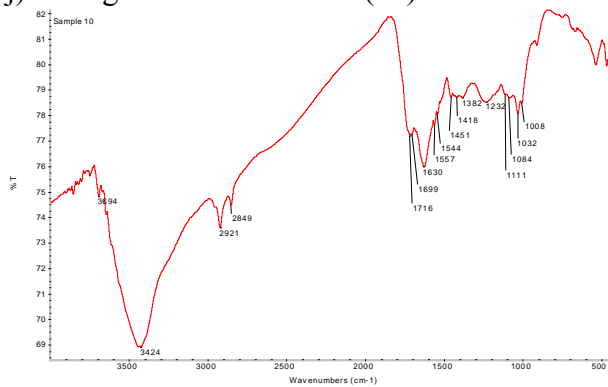
h) 10 Mg L.E.C. + 10 Mg Cinzas (8)



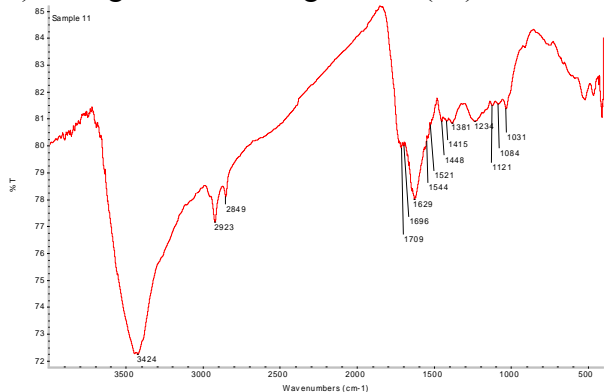
i) 10 Mg L.E.C. + 15 Mg Cinzas (9)



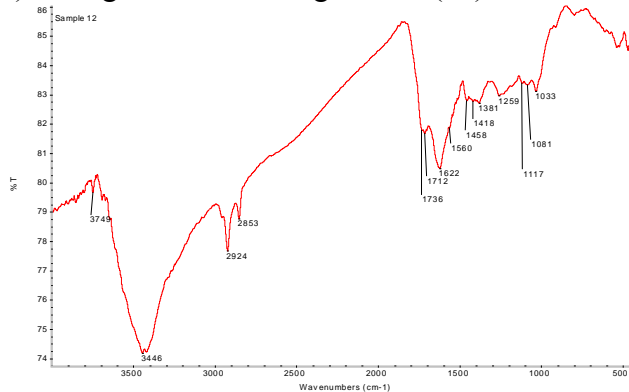
j) 20 Mg L.E.C. + 0 Cinzas (10)



k) 20 Mg L.E.C. + 5 Mg Cinzas (11)



l) 20 Mg L.E.C. + 10 Mg Cinzas (12)



m) 20 Mg L.E.C. + 15 Mg Cinzas (13)

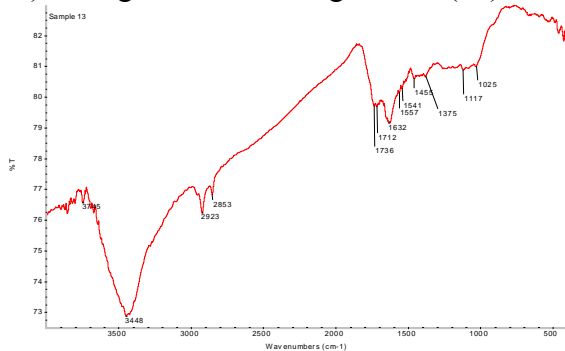


Figura 24 - Espectros (em cm-1) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses em função da aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011)

Tabela 31 - Espectros de infravermelho (em cm^{-1}) obtidos por espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) das amostras de Latossolo Vermelho (LV), conduzidos com eucalipto por 6 meses em função da aplicação de doses de lodo de esgoto compostado e de cinzas, no município de Botucatu/SP (2011). Legenda com identificação dos grupos funcionais.

Testemunha	NPK + Calc.	5 Mg Cinzas	10Mg Cinzas	15Mg Cinzas	10Mg L.E.C	10Mg L.E.C+ 5Mg Cinzas	10Mg L.E.C+ 10Mg Cinzas	10Mg L.E.C+ 15Mg Cinzas	20Mg L.E.C	20Mg L.E.C + 5Mg	12 20Mg L.E.C +10Mg	20Mg L.E.C +15Mg
						3693	3694	3695	3694	3424	3749	3745
						3440	3425	3423	3424	2923	3445	3448
3422	3444	3448	3695	3695	3749	2922	2921	2922	2921	2849	2924	2923
2922	2922	2922	3441	3441	3692	2852 *	2849	2849	2849	1709	2853	2853
2847	2846	2849	2922	2922	3448	1729	1709	1716	1716	1696	1736	1736
1716	1729	1722	2849	2849	2922*	1712	1628	1629	1699	1629	1712	1712
1695	1716	1696	1722	1726	2846	1696	1448	1554	1630	1544	1622	1632
1624	1839	1650	1709	1706	1716	1629	1408	1537	1557	1521	1560	1557
1445	1629	1623	1663	1628	1696	1560	1385	1451	1544	1448	1458	1541
1372	1557	1557	1626	1445	1631	1541	1235	1415	1451	1415	1418	1455
1230	1541	1383	1547	1402	1557	1521	1114	1380	1418	1381	1381	1375
1034	1455	1233	1448	1384	1537	1455	1081	1238	1382	1234	1259	1117
	1117	1114	1402	1081	1457	1415	1033	1081	1232	1121	1117	1025
	1035	1081	1385	1035	1415	1386	1005	1033	1111	1084	1081	
		103	1240	1002	1382	1230	531	1008	1084	1031	1033	
			1117	913	1242	1114		530	1032			
			1078	537	1033	1081			1008			
			1033	169	1008	1033						
					539	1005						
						912						
						535 e 467						
Identificação dos grupos funcionais:												
3500-3070 cm^{-1} N-H			3200-2500 cm^{-1} O-H		1820-1630 cm^{-1} C=O			1470-1430 cm^{-1} CH ₂		1400-500 cm^{-1} Halogênio		
1300-1000 cm^{-1} C-O			1580- 1495 cm^{-1} N-H		1390-1370 cm^{-1} CH ₃			1390-1370 cm^{-1} CH ₃		1000-680 cm^{-1} Olefinas		

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Avaliando os resultados do experimento, o tratamento adubação química + calagem muitas vezes apresentou valores bem superiores aos tratamentos com lodo de esgoto compostado e cinzas. As plantas que não receberam nenhum tipo de adubação (dose zero de lodo de esgoto compostado e cinzas) foram as que apresentaram um menor desenvolvimento, reforçando assim, a importância da adubação tanto inorgânica quanto orgânica.

O uso de resíduos na agricultura e em plantios florestais é uma tendência crescente, pois são materiais de baixo custo quando comparados à adubação tradicional. Porém o seu uso requer uma avaliação mais ampla, pois a distância da fonte pode ser o fator limitante econômico para seu uso.

A razão das maiores doses de lodo e cinza não atingirem os resultados obtidos pela adubação inorgânica pode estar diretamente relacionada com a taxa de mineralização do composto, visto que nas análises químicas dos resíduos, todos os nutrientes estavam presentes em quantidades até superiores à adubação convencional. E o fato de não liberar rapidamente também explicaria o resultado de não ter sido observado nenhum efeito restritivo apesar das altas dosagens dos resíduos.

Dessa forma, o lodo de esgoto compostado com as cinzas não substituem a adubação inorgânica no crescimento inicial do eucalipto, mas estudos sobre a taxa de mineralização dos compostos e a complementação com adubação química podem revelar informações importantes para seu uso.

Com relação à análise das substâncias húmicas dos solos, os espectros apresentam a mesma tendência, independente dos tratamentos, indicando que as doses utilizadas e o tempo de avaliação não foram suficientes para obtenção observar a influência dos tratamentos na avaliação qualidade das substâncias húmicas.

8. CONCLUSÕES

Os efeitos da adubação inorgânica convencional no crescimento inicial do eucalipto foram muito superiores ao do lodo de esgoto compostado com as cinzas, indicando que esses resíduos não substituem a adubação inorgânica, nas condições deste experimento.

O lodo de esgoto compostado (20 Mg ha^{-1}) juntamente com as cinzas (15 Mg ha^{-1}) podem ser utilizados na adubação inicial de eucalipto quando comparados à testemunha absoluta, pois promoveram incrementos de: área foliar, massa de galhos, massa do tronco, Intensidade de Cor Verde – ICV; acúmulos de Ca, Mg, S, B e Zn nos galhos; acúmulos de P, K, Mg, S, B, Cu, Fe e Zn no tronco; acúmulos de N, B, Cu e Fe nas raízes e acúmulo total de cobre na planta.

Durante o período avaliado, não se detectou influência dos resíduos nos teores e composições das substâncias húmicas do solo.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF. Anuário estatístico da Associação Brasileira dos Produtores de Florestas plantadas: ano base 2011. Brasília, DF, 2012. 150 p.

AJWA, H. A.; TABATABAI, M. A. Decomposition of diferente organic materials in soils. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 18, p. 175-182, 1994.

ANDRADE, C. A. **Fração orgânica de biossólidos e efeito no estoque de carbono e qualidade da matéria orgânica de um Latossolo cultivado com eucalipto**. 2004. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11140/tde-08092004-151256/>>. Acesso em: 6 jan. 2012.

ANDRADE, A. A.; OLIVEIRA, C. CERRI, C. C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 659-668, 2006.

ANDRADE, G. C. et al. Efeitos da adubação fosfatada e da aplicação de resíduo de celulose no crescimento de *Eucalyptus dunnii*. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, v. 47, p. 43-54, 2003.

ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; CERRI, C. C. Cinética de degradação da matéria orgânica de biossólidos após aplicação no solo e relação com a composição química inicial. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 4, p. 659-668 , 2006 . Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0006-87052006000400017&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 6 jan. 2012.

ANDREOLI C. V.; BONNET, B. R. P. (Coord.). **Manual de métodos para análises microbiológicas e parasitológicas em reciclagem agrícola de lodo de esgoto**. Curitiba: Companhia de Saneamento do Paraná, 1998. 80 p.

ARRUDA, O. G. et al. Comparação de custos de implantação de eucalipto com resíduos celulósico em substituição ao fertilizante mineral. **Revista. Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 5, p. 576-583, set./out., 2011.

BATAGLIA, O. C. Ferro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. D. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Potafos-CNPq, 1991. p. 159-172.

BELLOTE, A. F. J. et al. C. Resíduos da indústria de celulose em plantios florestais. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 37, p. 99-106, 1998.

BELLOTE, A. F. J.; SILVA, H. D. Técnicas de amostragem e avaliações nutricionais em plantios de *Eucalyptus spp.* In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, 2000. p. 106-133.

BENEDETTI, V. Utilização de resíduos industriais na Ripasa S/A Celulose e Papel como insumos na produção florestal. In: GUERRINI, I. AL et al. **Seminário sobre uso de resíduos industriais e urbanos em florestal**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p.141-154.

BENITES, V. M. **Caracterização química e espectroscópica da matéria orgânica e suas relações com a gênese de solos da Serra do Brigadeiro, Zona da Mata mineira**. 1998. 145 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

BERTONCINI, E. I. **Mobilidade de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto**. 1997. 90 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1997.

BERTONCINI, E. I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em latossolos sucessivamente tratados com biossólido**: extração sequencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas. 2002. 195 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, Universidade de São Paulo, 2002.

BERTONCINI, E. I.; LEITE, S. M. Desinfecção de lodo de esgoto por meio processo de compostagem. In: SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL AND AGROINDUSTRIAL WASTE MANAGEMENT (SIGERA), II., 2011, Foz do Iguaçu-PR. **Anais...**: Embrapa Suínos e Aves, 2011. Disponível em: < <http://downloads-de-eventos.livera.com.br/sigera2011/anais/obras/t016.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2012.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Coord.). **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 11 p.

BEVERLY, R. B.; JARRELL, W. M. The dilution effect in plant nutrition studies. **Advances Agronomy**, San Diego. v. 34, p. 197-224, 1981.

BLAGODATSKAYA, E.; KUZYAKOV, Y. Mechanisms of real and apparent priming effects and their dependence on soil microbial biomass and community structure: critical review. **Biology and Fertility of Soils**, Berlin, v. 45, n.2 , p. 115-131, 2008. Disponível em: <http://wwwuser.gwdg.de/~kuzyakov/Jane-Blag_BFS_2008_Appa-Real-Priming-PE_Review.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2012.

BOEIRA, R. C.; MAXIMILIANO, V. C. B. **Análise de nitrogênio em amostras de lodos de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2006. 5p. (Comunicado Técnico, 36).

BRADY, N.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 13. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2002. 960 p.

BRAMRYD, T. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus Sylvestris* L.) in central Sweden. **Forest Ecology and Management.**, Amsterdam, NL., v. 147, p. 197-216, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº375, de 29.ago.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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. 29.ago.2006, Seção 1, 32p. Disponível em: <http://www.mp.sp.gov.br/portal/page/portal/cao_urbanismo_e_meio_ambiente/legislacao/leg_federal/leg_fed_resolucoes/leg_fed_res_conama/res37506.pdf>. Acesso em: 6 jan. 2012.

BRASIL , 2007. Instrução Normativa SDA nº 28, de 27 de julho de 2007: aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial – Cgal/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura – Binagri e no site do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF. 31.jul.2007 , Seção 1, p.11. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229261>>. Acesso em: 14 jan. 2012.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde - Funasa. **Compostagem familiar**. Brasília, DF, 2009. 16 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos**: manual de orientação. Brasília, DF, 2012. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/182/_arquivos/manual_de_residuos_solidos3003_182.pdf> Acesso em: 6 jan 2012.

BUENO, R. C. R. Processo de redução adicional de patógenos com a utilização de energia solar. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21º. 16 a 21 de set 2001 - João Pessoa/PB. **Anais eletrônico...** . Rio de Janeiro: ABES, 2001. p 1-53.

CANELLAS, L. P. **Avaliação de características físico-químicas de ácidos húmicos**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 1999. 164p.

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: UENF, 2005. 309 p.

CHEN, Y.; SENESI, N. & SCHNITZER, M. Information provided on humic substances by E4/E6 Ration. **Soil Science Society of America Journal**., Madison, Wis., US, v. 41, n.2 , p. 352-358, 1977.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ - SANEPAR. Uso e manejo do lodo de esgoto na agricultura. Curitiba, 1999. 98 f. Disponível em:
<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/uso_manejo_lodo_agricultura.pdf>. Acesso em: 3 set. 2012.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. **Diário Oficial da União**, Brasília/DF, 29 ago 2006. Seção 1, p.1. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res06/res37506.pdf> > . Acesso em: 14 jan. 2012.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA, A. S. Produção de biossólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande/ PB, v. 11, n. 4, p. 420-426, 2007.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999. Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999. v. 1, p. 487-490.

DA CAS, V. L. S. Mineralização do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de lodo de esgoto e palha de aveia. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo, Área de Concentração em Biodinâmica e Manejo do Solo), da Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, Santa Maria/RS. 68 p. 2009. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/disserta%E7%F5es%20e%20teses/Dis%20Final%20Vera%20da%20Cas.pdf>

DAROLT, M. R.; OSAKI, F. Efeito da cinza de caldeira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes. In: OSAKI, F.. **Calagem e adubação**. Campinas: Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola, 1991a.

DAROLT, M. R.; OSAKI, F. Estudo da qualidade de cinzas vegetais para uso como adubos na região metropolitana de Curitiba, **Revista do Setor de Ciências Agrárias** . 11, (1-2). Curitiba/PR. 1991b.

DEVÈVRE, O. C.; HORWÁTH, W. R. Stabilization of fertilizer nitrogen-15 into humic substances in aerobic vs. waterlogged soil following straw incorporation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, Wis., US, v. 65, p. 499-510, 2001.

DIAS, B. O. et al. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa/MG, v. 31, n. 4, p. 701–711, 2007.

DOIS TERÇOS de todo esgoto gerado no Brasil não são tratados. *Ambiente Brasil*, 2011. Disponível em:

<<http://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2011/09/29/75110-dois-tercos-de-todo-esgoto-gerado-no-brasil-nao-sao-tratados.html>>. Acesso em: 14 jan 2012.

DRIESSCHE, R. Van Den. Prediction of mineral status of trees by foliar analysis. **The Botanical Review**, New York, p. 347-394, 1974.

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

EMBRAPA. **Plantio de florestas de rápido crescimento para madeira nobre**: alternativa de renda para pequenos e médios produtores rurais. Brasília, DF, 2003. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/folders/Eucalipto01_2003.pdf>. Acesso em: 3 set. 2007.

EPSTEIN, E.; TAYLOR, J. M.; CHANEY, R. L. Effects of sewage sludge and sludge compost applied to soil on some soil physical and chemical properties. **Journal of Environmental Quality**, v. 5, n.4 , p. 422- 426, 1976.

FARIA, L. C. **Uso do lodo de esgoto (biossólido) como fertilizante em eucaliptos: demanda potencial, produção e crescimento das árvores e viabilidade econômica**. Piracicaba. Tese (Doutorado em Recursos Florestais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 105p. 2007.

FERNANDES, T. J. G. et al. Quantificação do carbono estocado na parte aérea e raízes de *Hevea sp.*, aos 12 anos de idade, na Zona da Mata Mineira. **Revista Arvore**, Viçosa, v. 31, n. 4, aug. 2007.

FERRAZ, A. V. Ciclagem de nutrientes e metais pesados em plantios de *Eucalyptus grandis* adubados com lodos de esgoto produzidos em diferentes estações de tratamento da região metropolitana de São Paulo. Piracicaba, 2009. **Dissertação** (Mestrado em Recursos Florestais/Conservação de Ecossistemas Naturais). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 120p. il. 2009.

FERRAZ, A. V.; POGGIANI, F. Biomassa, nutrientes e metais pesados em raízes de eucaliptos adubados com diferentes lodos de esgoto. **CERNE**, Lavras, v. 20, n. 2, jun. 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-77602014000200018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 27 nov. 2014.

FIRME, L. P. Produção de madeira e elementos potencialmente tóxicos no sistema solo-eucalipto tratado com lodo de esgoto. 2009. 81f. **Tese** (Doutorado em Ciência, Área de

concentração: Química na agricultura e no ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

FOELKEL, C. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: aspectos ambientais dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. Versão eletrônica, 2005.

Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_minerais.pdf>. Acesso em: 14 jan 2012.

FONTAINE, F.; MARIOTTI, A.; ABBADIE, L. The priming effect of organic matter: A question of microbial competition? **Soil Biology Biochemistry.**, Elmsford, NY, US, v. 35, n. 837-843, 2003.

FRANCO-HERNÁNDEZ, O. et al. Dynamics of carbon, nitrogen and phosphorus in soil amended with irradiated, pasteurized and limed biosolids. **Bioresource Technology**, Essex, Inglaterra, v. 87, p. 93-102, 2003.

FREITAS, T. A. S. et al . Outplanting performace of eucalyptus clonal cuttings produced in different containers and substrates. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 32, n. 6, p. , dez. 2008 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622008000600007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 6 jan. 2012.

GARLIPP, R. C. D.; BERGER, R. Aspectos econômicos do emprego de fertilizantes minerais na produção de madeira de Eucalyptus saligna no Estado de São Paulo. **IPEF** n. 20, p. 49-58, jun.1980.

GATTO, A. et al. Estoques de carbono no solo e na biomassa em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa/MG, v. 34, n.4 , p. 1069-1079, 2010.

GILMOUR, J. T.; ROMAN, F.; CLARK, M. D. Decomposition of biosolids in a disposal site soil. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 25, p. 1083-1086, 1996.

GISMONTI, -- . O pH do solo e a disponibilidade de nutrientes. [S.l.]: Na sala com Gismonti, 2012. Disponível em:

<<http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/2012/01/o-ph-do-solo-e-disponibilidade-de.html>>. Acesso em: 5 jan. 2013.

GOMES, F. P. Adubos e adubação. São Paulo: Melhoramento, 1986. 188 p.

GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Típicas da Mata Atlântica. ESALQ/USP. **Documentos Florestais**, Piracicaba, n. 15, p. 1-23, 1995.

GONÇALVES, J. L. M., BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000. 427 p.

GONÇALVES, J. L. M.; MORO, L. Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*: trabalho de pesquisa. **IPEF**, Piracicaba, n. 48/49, p. 28-37, jan./dez. 1995.

GREY, M.; HENRY, D. Phosphorus and Nitrogen Runoff from a Forested Watershed Fertilized with Biosolids. **Journal Environmental Quality**, Mississippi/US , v. 31, n. , p. 926–936, 2002.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus Grandis***. Tese (Doutorado em Recursos Florestais, área de concentração: Silvicultura e Manejo Florestal) apresentada à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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

GUEDES, M. C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n.4 , p. 267-280, 2006. Disponível em: <www.scielo.br/pdf/rbcs/v30n2/a08v30n2>. Acesso em: 14 jan 2012.

GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A. Métodos químicos e físicos. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO F. A. O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p. 267-291.

GUERRA M. A. S. L. Avaliação de indicadores biológicos e fisicoquímicos no composto orgânico produzido a partir de resíduos da indústria de celulose. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 61 p. 2007.

GUERRINI, I. A. **Recuperação do nitrogênio do sulfato de amônio (15 N) pelo Eucalyptus grandis (Hill, ex Maiden), em função do modo de aplicação e do tipo de solo**. 1990. 195 f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990.

GUERRINI I. A.; Moro L. Influência da aplicação de resíduos industriais de fábrica de celulose e papel em plantios de eucalipto: efeitos no solo e na planta. In: SEMINÁRIO SOBRE RESÍDUOS INDUSTRIAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1, 1994, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônomicas, 1994. p. 188-215.

GUERRINI, I. A.; VILLAS BOAS, R. L. Use of Industrial Residues on Eucalypty plantations in Brazil. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K. (Ed.). **The forest alternative: principles an practice of residuals use**. Seattle: College of Forest Resources, p. 218-224. 2000.

GUERRINI, I. A. et al. Effects of wood ash x pulp and paper sludge interaction in *Eucalyptus* plantation. In: NORTH AMERICAN FOREST SOILS CONFERENCE, 9., Tahoe City, 1998. **Proceedings...** Madison: American Soil Science Society, 1998.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. **Cadernos temáticos de Química Nova na Escola**, Edição eletrônica, v.1 , n.1 , p.1 , maio 2001. Edição Especial Tratamentos de esgotos. Disponível em: <www.qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/esgotos.pdf>. Acesso em: 6 jan 2012.

HATTORI, H.; MUKAI, S. Decomposition of sewage sludge in soil as affected by their organic matter composition. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo/JP, v. 32, n. 3, p. 421-432, 1986.

HENRY, C. L.; COLE, D. W.; HARRISON, R. B. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: the Pack Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 66, p. 137-149, 1994.

HORTA, C. et al . Avaliação do potencial fertilizante de dois resíduos da indústria florestal. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa , v. 33, n. 2, dez. 2010. Disponível em: <http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871-018X2010000200013&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 6 jan. 2012.

HSIEH, Y. P.; LOWELL, A. D.; MOTTO, H. M. Modeling sewage sludge decomposition in soil: I Organic carbon transformation. **Journal Environmental Quality**, Mississippi/US, v. 10, n.1. , p. 54-64, 1981.

HUANG, C. C.; CHEN, Z. S. Carbon and nitrogen mineralization of sewage sludge compost in soils with a different initial pH. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo/JP, v. 55, p. 715-724, 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Características da população**. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1965&id_pagina=1>. Acesso em: 23 jun. 2012

INTERNATIONAL HUMIC SUBSTANCES SOCIETY – IHSS. Humic substances. Mississippi, 2012. Disponível em: <<http://www.humicsubstances.org/index.html>>. Acesso em: 20 dez 2012.

IGNATIEFF, V.; PAGE, H. J. El uso eficaz de lós fertilizantes. 2. ed. Roma: FAO, 1959.

INSTITUTO DE PESQUISAS E ESTUDOS FLORESTAIS – IPEF. **Fatos e números do Brasil florestal**. Piracicaba, 2006. Disponível em: <<http://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/SBS-2005.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

KAMEWADA, K. Vertical distribution of denitrification activity in an Andisol upland field and its relationship with dissolved organic carbon: Effect of long-term organic matter application. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo/JP, v. 53, p. 401–412, 2007.

KLIEMANN, H. J.; BUSO, W. H. D. Efeitos dos sistemas de manejo e da calagem na estimativa das frações potencialmente mineralizáveis de nitrogênio em solos do sudoeste de Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n.1 , p. 59-68, 2002.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology Biochemistry**., Elmsford, NY, US, v. 32, n.1 , p. 1485-1498, 2000.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; RANGER, J. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 128, n. 3, p. 181-196, 2000.

LEITE, R. M. Efeito da escória de siderurgia na nutrição e desenvolvimento inicial de eucalipto. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 103p. 2008.

LIMA, D. G. Importância das florestas plantadas como forma de reduzir a pressão sobre as florestas nativas ainda existentes. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador, v. 1, n. 3, p. 45-48, 1997.

LIMA, A. M. N. Estoque de carbono e frações da matéria orgânica do solo sob povoamento de eucalipto no Vale do Rio Doce – MG. Tese (Doutorado em Solos e Produção de Plantas) Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 109p. 2004.

LIMA, I. L. **Influência do desbaste e da adubação na qualidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maidem**. 2005. 137 f. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

LIRA, A. C. S. **Lodo de esgoto em plantações de eucalipto: carbono, nitrogênio e aspectos da fotossíntese**. 2006. 126 f. Tese (Doutorado em Nome do Programa)-Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

LOGAN, T. J. et al. Field assessment of sludge metal bioavailability to crops: sludge rate response. **Journal Environmental Quality**, Mississippi/US, v. 26, n.1 , p. 534-550, 1997.

LOMBARD, K. et al. Fly Ash and Composted Biosolids as a Source of Fe for Hybrid Poplar: A Greenhouse Study. **Applied and Environmental Soil Science**. Article ID 475185, 11 pages. doi:10.1155/2011/475185. 2011.

LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do infravermelho. **Química Nova**, São Paulo, v. 27, n. 4, ago. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000400025&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 3 jul. 2012.

LOURENÇO, R. S. et al. Efeito da aplicação do lodo de esgoto nos teroes solúveis e totais de elementos do solo sob sistema de produção de (*Mimosa scabrella* Benth.). **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 38, p. 39-65, jan./jun. 1999.

LOUÉ, A. Potassium Research: research and trends. Bern: International Potash Institute, 1978. p. 407-433.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa de Potássio e Fosfato, 1997. 319 p.

MATTIAZZO-PREZOTTO, M. E. **Comportamento de cobre, cádmio, crômio, níquel e zinco adicionados à solos de clima tropical em diferentes valores de pH**. 1994. 197 f. Tese (Livre-Docência)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

MATTIAZZO, M. E.; BARRETO, M. C. V.; RODELLA, A. A. Organic matter kinetics mineralization in soils amended with four different organic wastes. In: CONGRESS MONDIAL DE SCIENCE DU SOL, 16., Montpellier, 1998. **Actes...** Montpellier: ISSS, 1998. CD-ROM

MILORI, D. M. B. P. et al. Humification degree of soil humic acids determined by fluorescence spectroscopy. **Soil Science.**, Baltimore, Md, US, v. 167, n.1 , p. 739-749, 2002.

MORO, L.; GONÇALVES, J. L. M. Efeito da cinza de biomassa florestal sobre a produtividade de povoamentos puros de *Eucalyptus grandis* e avaliação financeira. **IPEF**, Piracicaba, v. 48/49, n.1 , p. 18-27, 1995

MORO, L. et al. Exportação de nutrientes em povoamentos de *Pinus taeda* L. baseada em volume estimado pelo sistema SISPINUS. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, jul./set. 2008.

NGUYEN B.V.; OLK, D. C.; CASSMAN, K. G. Characterization of humic acid fractions improves estimates of nitrogen mineralization kinetics for lowland rice soils. **Soil Science Society America Journal**, Madison,, v. 68, p. 1266–1277, 2004a.

NGUYEN B.V.; OLK, D. C.; CASSMAN, K. G. Nitrogen mineralization from humic acid fractions in rice soils depends on degree of humification. . **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 68, p.1278–1284, 2004b.

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

OLIVEIRA, F. C. et al. Efeitos de aplicação sucessiva de lodo de esgoto em um latossolo amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.1 , p. 505-519, 2002.

PAIVA, M. C. Espectroscopia de infravermelhos. Minho/PT. Edição eletrônica, 2006. Disponível em:
<http://www.dep.uminho.pt/mcpaiva/pdfs/IP_UCI_I/0607F01.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2012.

PAREDES FILHO, M. V. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agroambiental**, Barreiras/BA, v.1 , n.1 , p.1 , dez. 2011. Disponível em:
<http://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/viewFile/364/360>. Acesso em 14 jan 2012.

PELEGRINO, E.C.F.; FLIZIKOWSKI, L.C.; SOUZA, J.B. de. Compostagem de lodo de estação de tratamento de esgoto. In: **VI Semana de Estudos de Engenharia Ambiental**. Unicentro, Irati/PR. Pôster. 2008.

PINHEIRO, G. L.; SILVA, C. A.; FURTINI NETO, A. E. Crescimento e nutrição de clone de eucalipto em resposta à aplicação de concentrações de C-ácido húmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1217-1229, 2010. Disponível em:
<<http://dx.doi.org.ez44.periodicos.capes.gov.br/10.1590/S0100-06832010000400021>>. Acesso em: 3 set. 2012.

PIRES, A. M. M. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. Jaguariúna: Embrapa, 2006.

POGGIANI, F. **Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de *Eucalyptus* e *Pinus* implicações silvitulcurais**. 1985. Tese (Livre-Docência)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1985.

POGGIANI, F.; GUEDES, M. C.; BENEDETTI, V. Aplicabilidade de bio-sólido em plantações florestais: I. reflexo no ciclo dos nutrientes. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. cap. 8, p. 163-178.

POGGIANI, F. Características do sistema radicular das árvores de *Eucalyptus grandis* em resposta a aplicação de doses crescentes de bio-sólido. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 65, n.1 , p. 207-218, 2004.

POGGIANI, F. **Uso de bio-sólidos produzidos nas estações de tratamento de esgoto da região metropolitana de São Paulo em plantações florestais**. Piracicaba: FEALQ/SABESP, 2004. 69 p. (Relatório Técnico-Científico, 18).

PRIMO, D. C.; MENEZES, R. S. C.; SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 7, n. 5, p.1 , 2011. Disponível em: <<http://www.scientiaplena.org.br/ojs/index.php/sp/article/viewFile/342/131>>. Acesso em: 31 jul 2012.

PULROLNIK, K. **Transformações do carbono no solo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. 36 p. (Documentos, 264)

Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2010/31495/1/doc-264.pdf>>. Acesso em: 3 jul. 2012.

QUAGGIO, J. A. et al. Evolution of the analytical quality of soil testing laboratories integrated in a sample exchange program. **Communications of Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, n. 7/8, p. 1007-1014, 1994.

QUINTANA, N. R. G.; CARMO, M. S.; MELO, W. J. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Nucleus**, Ituverava, v. 8, n. 1, abr. 2011.

VAN RAIJ, B. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001.

RAPOSO, H. **As três adubações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1963. 19 p.

REDDY, K. R., FEIJTEL, T. C.; PATRICK, W. H. Effect of soil redox conditions on microbial oxidation of organic matter. In: CHEN, Y.; AUNIMELECH, Y. (Ed.). **The role of organic matter in modern agriculture**. The Hague: Martinus Nijhoff Publishers, 1986. p. 117-156

ROTH, C. H.; WILCZYNSKI, W.; CASTRO FILHO, C. Effect of tillage and liming on organic matter composition in a Rhodic Ferralsol from Southern Brazil. **Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde**, Weinheim, Alemanha, v. 55, n.1 , p. 175-179, 1992.

ROWELL, D. M. , PRESCOTT, C. E.; PRESTON, C. M. Decomposition and nitrogen mineralization from biosolids and other organic materials: relationship with initial chemistry. **Journal Environmental Quality**, Mississippi/US, v. 30, n.1 , p. 1401-1410, 2001.

SAMPAIO, T. F. **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**. 2010. 84 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SCHNITZER, M. Organic matter characterization. In: PAGE, A. L. (Ed.) **Methods of soil analysis**. 2. ed. Madison: ASA, 1982. cap. 30, p. 581-594.

SCHNITZER, M.; GUPTA U. C. Determination of acidity in soil organic matter. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, Wis., US, v. 27, n.1 , p. 274-277, 1965.

SENESI, N. et al. Characterization, differentiation and classification of humic substances by fluorescence spectroscopy. **Soil Science**, Baltimore, Md, US, v. 152, n. 4, p. 259-271, 1991.

SENESI, N.; MIANO, T. M.; BRUNETTI, G. Humic like substances amendments and effects on native soil humic substances. In: PICCOLO, A. (Ed.). **Humic substances in terrestrial ecosystems**. Amsterdam: Elsevier Science, 1996. cap. 14, p.531-593.

SILVA, H. D. Modelos matemáticos para a estimativa da biomassa e do conteúdo de nutrientes em plantações de *Eucalyptus grandis*, de diferentes idade. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 101 p., 1996.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F. et al. **Fertilidade do solo**. Viçosa: SBCS, 2007.

SILVA, K. R. et al. Custos e rendimentos operacionais de um plantio de eucalipto em região de. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 3, p. 361-366, 2004.

SILVA, P. H. M. **Produção de madeira, ciclagem de nutrientes e fertilidade do solo em plantios de Eucalyptus grandis, após aplicação de lodo de esgoto**. 2006. 117 p.. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais)-Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-15022007-143118/>>. Acesso em: 7 set. 2012.

SILVA, P. H. M. et al. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 845-854, 2008.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F.; LACLAU, J. P. Applying sewage sludge to eucalyptus grandis plantations: effects on biomass production and nutrient cycling through litterfall. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2011, n. , p.1-11. , 2011. Article

ID 710614, 11 pages. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1155/2011/710614>. Acesso em: 06 jan. 2012.

SIMONETTE, M. A. et al. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n.10 , p. 1187-1195, 2003.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. 2. ed. New York: Willey, 1994. 496 p.

SUI, Y.; THOMPSON, M. L. Phosphorus sorption, desorption and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, Wis., v. 64, n. , p. 164-169, 2000.

TERRY, R. E.; NELSON, D. W.; SOMMERS, L. E. Carbon cycling during sewage decomposition in soils. **Soil Science Society of America Journal.**, Madison, Wis., v. 43, n.1 , p. 494-499, 1979.

TORRI, S. I. et al. Biosolids Soil Application: agronomic and Environmental Implications 2013. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2014, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2014/314730>>. Acesso em: 23 jul. 2014.

TRIGUEIRO, R.M. **Uso de biossólidos como substrato para produção de mudas de pinus e eucalipto**. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu/SP, 83p. Junho, 2002.

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 69-106.

TSUTIYA, M. T. Alternativas de disposição final de biossólidos. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J. & MARQUES, M.O., eds.. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Sabesp, 2001. 468 p.

VAZ, L. M.S.; GONÇALVES, J. L.M. Uso de biossólidos em povoamentos de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.1 , p. 747-758, 2002. Disponível em: <sbcs.solos.ufv.br/solos/revistas/v26n3a20.pdf>. Acesso em: 31 jul. 2012

WAGAI, R.; MAYER, L. M.; KITAYAMA, K. Nature of the “occluded” low-density fraction in soil organic matter studies: a critical review. **Soil Science and Plant Nutrition**, Cidade, v. 55, n. , p. 13-25, 2009.

WHALEN, J. K.; CHANG, C.; OLSON, B. M. Nitrogen and phosphorus mineralization potentials of soils receiving repeated annual cattle manure applications. *Biology and Fertility of Soils*, Berlin Heidelberg, v.34, n.5, p.334-341, 2001.

WELDER, C. **Macroscale and microscale organic experiments**. 4th ed. New York: Houghton Mifflin Company, 2003. p. 194-215. Disponível em: <https://docs.google.com/viewer?a=v&q=cache:V474shwlzjcJ:users.wfu.edu/wrightmw/chm122/chm122Lab/IR%2520procedure.doc+&hl=pt&pid=bl&srcid=ADGEESj51wO_Z1Awi1VFguq0OHYj9_BPbSuknax__Z8XYgAUsa06YCXbZZ7zBJaTJdwy7-A8R2bgFwfNuKnYOMtsmSsKmKVf8WqeWm35K5eCjM3TAmJaNecWyKpTJ0Iu9plnNYlnWu9&sig=AHIEtbR3g5kdCwtSiUAH9XVVD4n-0Hff5A>. Acesso em: 23 jun. 2012.

WU, L.; MA, L. Q. Effects of sample storage on biosolids compost stability. **Journal Environmental Quality**, Mississippi/US, v. 30, n.1 , p. 222-228, 2001

ZECH, W. et al. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, NL, v. 79, n.1 , p. 117-161, 1997.

ZHURAVLEVA, A. I. et al. Mineralization of Soil Organic Matter Initiated by the Application of an Available Substrate to the Profiles of Surface and Buried Podzolic Soils. **Eurasian Soil Science**, Silver Spring, Md, US, v. 45, n. 4, p. 435-444, 2012.

ZUBA JUNIO, G. R. **Produtividade, nutrição mineral e teores de metais pesados em milho adubado com fosfato natural e com composto de lodo de esgoto**. 2011. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias/Agroecologia)-Universidade Federal de Minas Gerais, Montes Claros, 2011.