

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

**AVALIAÇÃO DO LODO DE CURTUME COMO FONTE DE
NUTRIENTES PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO**

VÍTOR SURIAN GAMBA

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

BOTUCATU - SP

Junho - 2012

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

**AVALIAÇÃO DO LODO DE CURTUME COMO FONTE DE
NUTRIENTES PARA O CRESCIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO**

VÍTOR SURIAN GAMBA

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

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

BOTUCATU - SP

Junho – 2012

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

G187u Gamba, Vítor Surian, 1986-
Avaliação do lodo de curtume como fonte de nutrientes para o crescimento inicial de eucalipto / Vítor Surian Gamba.- Botucatu :[s.n.], 2012
xiv, 78 f. : il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012
Orientador: Alcides Lopes Leão
Inclui bibliografia

1. Eucalipto. 2. Solos - Fertilidade. 3. Nutrientes. 4. Resíduos industriais. I. Leão, Alcides Lopes. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

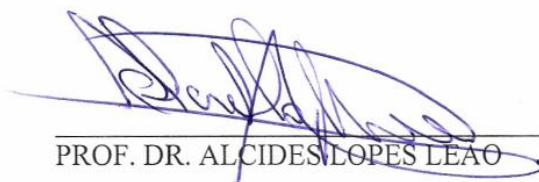
UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: “AVALIAÇÃO DO LODO DE CURTUME COMO FONTE DE
NUTRIENTES PARA O CRESCIMENTO INICIAL DO EUCALIPTO”

ALUNO: VÍTOR SURIAN GAMBA

ORIENTADOR: PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ALCIDES LOPES LEÃO



PROF. DR. IRAÊ AMARAL GUERRINI



PROF. DR. FERNANDO CARVALHO OLIVEIRA

Data da Realização: 16 de julho de 2012.

Agradecimentos

À Deus pela vida, pela saúde, pela família e amigos que me concedeu, pelos momentos bons que me permitiu, e pela força que me deu para enfrentar os momentos difíceis.

Aos meus pais José António Gamba e Marta Maria Surian Gamba pelo amor, ajuda e compreensão, assim como toda minha família e meu irmão Otávio Surian Gamba, que também foi uma inspiração para que eu me tornasse Engenheiro Florestal.

Aos meus falecidos avós que sempre foram e sempre serão uma inspiração para minha vida.

À minha namorada Jéssica pelo amor, companheirismo, e apoio.

Aos meus amigos: Matheus Z. Ferreira, Maria Angélica S. de Toledo, Leonardo G. Miranda, Mario P. Neto, Javer Alves, Alex Shinohara, André Gonçalves, Lucas Ferreira, Lucas D. Simi, Humberto Pupo, Regina Marques, além dos amigos do laboratório, dos amigos da XVIII turma de Engenharia Florestal, dos amigos da República Mata Burro, dos amigos da Pós Graduação e todos os demais que me fizeram parte dessa etapa da minha vida.

Ao professor Dr. Alcides Lopes Leão pela orientação, pela amizade, pelas oportunidades concedidas, e pela sabedoria e experiência transmitidas.

Ao professor Dr. Iraê Amaral Guerrine, pela amizade, orientação e pelas oportunidades concedidas.

Ao Dr. Fernando Carvalho de Oliveira por aceitar o convite para participar da banca de defesa e pela colaboração com o trabalho.

Ao professor Dr. Robert Harison pela participação na banca de qualificação, pelas incríveis oportunidades concedidas e pela amizade.

À professora Dra. Magali Ribeiro pela amizade e pela orientação no estágio docência.

Aos técnicos e funcionários do Departamento de Recursos Naturais pela paciência ajuda e amizade.

À empresa Equalisa Ambiental que, por intermédio do Ciro Croce e Sidir Jr., teve papel extremamente importante para a viabilização do trabalho, além da amizade construída com os membros da empresa.

Ao Curtume pioneiro, através do Newton Losi e Newton Losi Filho, que apoiaram totalmente o projeto, inclusive financiando parte do mesmo; assim como os demais funcionários do curtume, principalmente o Benedito.

À empresa Eucatex pelo fornecimento das mudas.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas pelo apoio institucional.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

SUMÁRIO	Página
LISTA DE TABELAS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	X
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
INTRODUÇÃO.....	4
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1 Setor florestal brasileiro.....	7
2.2 Processo de curtimento de peles.....	8
2.2.1 Conservação de peles.....	9
2.2.2 Pré tratamento ou ribeira.....	9
2.2.3 Curtimento.....	11
2.2.4 Acabamento.....	12
2.3 Impactos ambientais.....	12
2.3.1 Insumos utilizados.....	13
2.3.2 Resíduos gerados.....	14
2.4 Legislação.....	15
2.5 Utilização de lodo de curtume na agricultura.....	20
2.6 Utilização de lodo de curtume em espécies florestais.....	21
2.7 Efeitos da aplicação de lodo de curtume nos atributos químicos e biológicos do solo.....	23
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Local do experimento.....	29
3.2 Caracterização do clima.....	30
3.3 Caracterização do solo.....	31
3.4 Caracterização da espécie.....	32
3.5 Caracterização dos resíduos utilizados.....	32
3.6 Tratamentos e delineamento experimental.....	34

3.7 Instalação do experimento.....	36
3.8 Análises químicas do solo e folhas.....	37
3.9 Coleta de dados biométricos.....	38
3.10 Determinação da área foliar.....	39
3.11 Avaliação das massas secas de raiz, caule e folhas.....	39
3.12 Determinação do teor de clorofila.....	39
3.13 Análise estatística.....	39
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
4.1- Parâmetros Biométricos.....	41
4.1.1- Crescimento em diâmetro e altura.....	41
4.1.2- Produção de área foliar, massa seca de folhas, caule e raiz, e teor de clorofila.....	44
4.2- Efeito nos atributos químicos e físico químicos do solo.....	50
4.3- Acúmulo de macro e micronutrientes nas folhas.....	63
5 CONCLUSÕES.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	73
7 REFERÊNCIAS.....	74

LISTA DE TABELAS

	Página
1 Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e para silicato de cálcio, silicato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio e escória silicatada	18
2 Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos	19
3 Análise química do latossolo vermelho coletado no setor de patrulha da Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.....	31
4 Análise química do resíduo de curtume compostado e resíduo proveniente da etapa de caleiro, ambos provenientes do Curtume Pioneiro, no município de Botucatu/SP	33
5 Análise de metais pesados e substâncias potencialmente tóxicas do resíduo de curtume compostado e resíduo proveniente da etapa de caleiro, ambos provenientes do Curtume Pioneiro, no município de Botucatu/SP	34
6 Tratamentos utilizados e suas respectivas doses	35
7 Quantidade de nutrientes presentes nas doses de cada tratamento.....	36
8 Médias das medições de diâmetro das plantas de eucalipto conduzidas por 5 meses, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, no município de Botucatu/SP no ano de 2011	42
9 Médias das medições de altura das plantas de eucalipto conduzidos por 5 meses, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, no município de Botucatu/SP no ano de 2011	43
10 Médias das medições de área foliar, massa seca de folha, caule e raiz, e do teor de clorofila das plantas de eucalipto submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, realizadas ao quinto mês de condução do experimento, no município de Botucatu/SP no ano de 2011	46
11 Resultados da análise química de solo ao final de 5 meses de condução do experimento com plantio de eucalipto, submetidos à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, no município de Botucatu/SP no ano de 2011	51

- 12 Resultados da análise química de solo ao final de 5 meses de condução do experimento com plantio de eucalipto, submetidos à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011 52
- 13 Teor de macronutrientes e sódio nas folhas de eucalipto decorridos 5 meses desde o plantio das mudas, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011 63
- 14 Teor de micronutrientes nas folhas de eucalipto decorridos 5 meses desde o plantio das mudas, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011 64

LISTA DE FIGURAS

		Página
1	Evolução da área de florestas plantadas com eucalipto no Brasil, no período de 2004 a 2009	8
2	Vista geral do experimento na estufa plástica	29
3	Temperaturas médias mensais durante a condução do experimento	30
4	Precipitação mensal durante o período do experimento	30
5	Visualização da disposição dos vasos em blocos	35
6	Vista dos vasos e betoneira	37
7	Detalhe das plantas após a coleta das folhas	37
8	Detalhe das plantas após a coleta das folhas	42
9	Valores de diâmetro observados das plantas, curvas ajustadas do modelo misto em função das avaliações realizadas para diâmetro das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da última avaliação de diâmetro das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica e da testemunha absoluta	43
10	Valores de altura observados das plantas, curvas ajustadas do modelo misto em função das avaliações realizadas para altura das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da última avaliação de altura das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica e testemunha absoluta	44
11	Imagem das plantas representativas de seus respectivos tratamentos: A – testemunha absoluta; B – adubação inorgânica; C – 5 Mg ha ⁻¹ de resíduo compostado; 10 Mg ha ⁻¹ de resíduo compostado; 20 Mg ha ⁻¹ de resíduo compostado; 30 Mg ha ⁻¹ de resíduo compostado; 40 Mg ha ⁻¹ de resíduo compostado; 5 Mg ha ⁻¹ de resíduo de calcário; 10 Mg ha ⁻¹ de resíduo de calcário; 20 Mg ha ⁻¹ de resíduo de calcário; 30 Mg ha ⁻¹ de resíduo de calcário; 40 Mg ha ⁻¹ de resíduo de calcário	45
12	Valores de área foliar observados, ajuste das regressões para as médias dos valores de área foliar das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio de área foliar das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	47

- 13 Valores de massa seca de folhas observados, ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de folhas das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e valor médio de massa seca de folhas das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 48
- 14 Valores de massa seca de caule observados, ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de caule das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e valor médio de massa seca de caule das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 48
- 15 Valores de massa seca de raiz observados, ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de raiz das plantas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e valor médio de massa seca de raiz das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 49
- 16 Teores de clorofila observados nas folhas de eucalipto, ajuste das regressões para as médias dos teores de clorofila nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e teor médio de clorofila nas folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 49
- 17 Valores de pH observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos valores de pH nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e valor médio de pH em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 53
- 18 Teores de matéria orgânica observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de matéria orgânica nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e teor médio de matéria orgânica em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 53
- 19 Teores de fósforo observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de fósforo nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calceiro, e teor médio de fósforo em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 54
- 20 Teores de alumínio observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de alumínio nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de

	calciro, e teor médio de alumínio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	55
21	Valores da acidez potencial observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos valores da acidez potencial nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e valor médio da acidez potencial em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	56
22	Teores de cálcio observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de cálcio nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e teor médio de cálcio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	57
23	Teores de magnésio observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de magnésio nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e teor médio de boro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	58
24	Valores da SB observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos valores da SB nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e valor médio da SB em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	59
25	Valores da CTC observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos valores da CTC nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e valor médio da CTC em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	60
26	Valores da V% observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos valores da V% nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e valor médio da V% em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	60
27	Teores de boro observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de boro nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calciro, e teor médio de boro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses	61

- 28 Teores de cobre observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de cobre nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de cobre em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 61
- 29 Teores de ferro observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de ferro nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de ferro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 62
- 30 Teores de sódio observados nos solos, ajuste das regressões para as médias dos teores de sódio nos solos com eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de sódio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 62
- 31 Teores de nitrogênio observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de nitrogênio nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de nitrogênio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 65
- 32 Teores de fósforo observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de fósforo nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de fósforo em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 66
- 33 Teores de potássio observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de potássio nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de potássio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 67
- 34 Teores de cálcio observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de cálcio nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de cálcio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 68
- 35 Teores de magnésio observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de magnésio nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado

- e resíduo de calcário, e teor médio de magnésio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 69
- 36 Teores de enxofre observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de enxofre nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de enxofre em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 70
- 37 Teores de manganês observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de manganês nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de manganês em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 70
- 38 Teores de zinco observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de zinco nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de zinco em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 71
- 39 Teores de sódio observados das folhas de eucaliptos, ajuste das regressões para as médias dos teores de sódio nas folhas de eucalipto e das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de sódio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses 71

RESUMO

As áreas plantadas com florestas de espécies do gênero *Eucalyptus* estão em franca ascendência no Brasil, o que resulta na necessidade de grande quantidade de insumos para manter os elevados índices produtivos. Devido à elevação dos preços de alguns produtos agrícolas, a utilização de recursos alternativos para fornecer aporte à produção florestal no país é de grande interesse do setor. Como exemplos citam-se os Estados Unidos, Holanda e outros países que utilizam resíduos orgânicos industriais e urbanos para o fornecimento de nutrientes à agricultura e silvicultura. Uma alternativa em potencial para o Brasil são os resíduos gerados por indústrias de curtimento de peles, visto que o país é um dos maiores produtores de couros do mundo e gera grandes quantidades de resíduos. Com isso, é dado um destino economicamente e ambientalmente mais correto aos resíduos, além de gerar economia de insumos no setor florestal. O objetivo deste trabalho é avaliar o desenvolvimento de um híbrido de *Eucalyptus urophylla* com *Eucalyptus grandis* submetidos às diferentes doses de lodo compostado e lodo de caleiro, ambos provenientes da indústria de curtimento de couro. Para isso foi realizado um experimento em vasos dentro de uma estufa plástica no Departamento de Recursos Naturais – Ciências Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu, e foram avaliados o diâmetro e altura das plantas, massa seca de

raiz, caule e folhas, teor de clorofila, além do teor de nutrientes no solo e nas folhas. A utilização de doses crescentes de ambos os resíduos resultou na melhoria dos parâmetros biométricos das características físico químicas do solo, no fornecimento de nutrientes ao solo e maior acúmulo de nutrientes nas folhas. As doses de 20 e 30 Mg ha⁻¹ do resíduo de calcário foram as que proporcionaram melhores condições às plantas e ao solo.

Palavra chave: fertilidade do solo, eucalipto, floresta, resíduo industrial, nutrição mineral

EVALUATION OF TANNERY SLUDGE AS A SOURCE OF NUTRIENTS FOR INITIAL GROWTH OF EUCALYPTUS.

Botucatu, 2012. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: Vítor Surian Gamba

Adviser: Alcides Lopes Leão

SUMMARY

The area of *Eucalyptus* forest used for commercial purposes is rising in Brazil, resultings in the use of large amounts of inputs to mainten higher productivity. Due to rising fertilizer prices, the use of alternatives resources is important to provide options for forest farmers and to reduce costs. The United States, Netherlands and other countries have used industrial and urban wastes in agriculture and forestry as a supply of nutrients. In Brazil, the wastes of tannery industry are a potential alternative. The country is one of the biggest tanner producers in the world, and this sector generates large quantites of waste. Forest fertilization is both an economically and environmentally superior use of this waste, and it lowers the costs of forest production. Therefore, the objective of this work is to evaluate the development of a *Eucalyptus* hybrid (*E. Grandis* x *E. Urophylla*) with the use of tannery wastes to provide nutrients. The experiment was carried out in vases inside the greenhouse of the Department of Natural Resources – Environmental Sciences in the College of Agricultural Sciences, Botucatu, Brazil. The parameters checked ware height and diameter of plants; dry mass of roots, stem and leafs; and chlorophyll content and nutrient content of the soil and leaves. The use of increasing doses of both residues resulted in the rise of biometric parameters, improved soil physicochemical characteristics, the supply of nutrients to soil and nutrient content in leaves. Thetreatments of 20 and 30 Mg ha⁻¹ of liming residue resulted in the best conditions for plants growth and soil fertility.

Key words: tannery waste, *Eucalyptus*, forest, wastes

1- INTRODUÇÃO

Em 2009, a área total de florestas plantadas no Brasil era de, aproximadamente, 516 milhões de hectares (ha), sendo 6,31 milhões de ha de florestas plantadas com eucalipto e pinus, o que corresponde a 0,8 % do território nacional, obtendo-se um crescimento de 2,5% maior em relação a 2008. Os gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia*, que compreendem ao popularmente chamado “Eucalipto”, são os mais plantados com aproximadamente 4,52 milhões de ha, que representam 66,6% em relação à área total de florestas plantadas (ABRAF, 2010).

Ainda segundo a ABRAF (2010), as florestas de eucalipto dos estados brasileiros com tradição na silvicultura ou considerados como as novas fronteiras da silvicultura, como Mato Grosso do Sul Tocantins e Maranhão, possuíram crescimento médio no país de 7,1% ao ano entre 2004-2009. Quanto aos plantios de eucalipto, observa-se expansão de mais de 1 milhão de hectares de áreas plantadas no período citado, o que corresponde a um crescimento acumulado de 41,1% no período.

Essa expansão das áreas plantadas com florestas de espécies dos gêneros *Eucalyptus* e *Corymbia* resulta na necessidade de grande quantidade de insumos para

manter elevados os índices produtivos nessas áreas. Devido à elevação dos preços de alguns insumos, faz-se necessário utilizar recursos alternativos para fornecer aporte à produção florestal no país. Uma alternativa utilizada em diversos países é o uso de resíduos orgânicos industriais e urbanos para o fornecimento de nutrientes às árvores.

Em 2010 o Brasil possuía, aproximadamente, 200 milhões de cabeças de gado, sendo considerado o maior rebanho comercial do mundo, além de ter sido o 4º maior produtor de couro do mundo, com 1,74 bilhão de peças, ficando atrás apenas da Itália, Estados Unidos e China + Hong Kong, possuindo grande potencial de produção de resíduos gerados nas indústrias de curtimento de couro (CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO BRASIL, 2011). Esses resíduos possuem grande potencial de aplicação à agricultura, visto suas características químicas.

Os resíduos de curtume são materiais constituídos de matéria orgânica de origem animal juntamente com sais inorgânicos, sendo alguns desses aproveitados como nutrientes para as plantas, como por exemplo, cálcio, magnésio, nitrogênio, fósforo, nitrogênio e potássio (SELBACH et al.,1991).

A produção de couros no Brasil, em 2010, foi de mais de 27 milhões de peças, apenas para serem exportados, sem contar as peles curtidas para o mercado interno (CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO BRASIL, 2011). O Estado de São Paulo é o segundo maior produtor de couros do país, atrás apenas do Rio Grande do Sul, com, aproximadamente 23,0% da produção nacional em 2001 (PACHECO, 2005). Segundo Class & Maia (1994), para cada pele processada nos curtumes, são gerados cerca de 12 quilos de lodos, o que torna o setor um grande gerador de resíduos, com cerca de 324 mil toneladas produzidas por ano, somente de couro produzido para exportação

O setor florestal é um destino potencial para os resíduos gerados nas indústrias de curtimento de couro, visto a necessidade de destinação e utilização de maneira mais sustentável da grande quantidade de resíduo gerada, assim como o suprimento da demanda por insumos que a silvicultura possui.

Apesar do grande potencial de utilização desses resíduos em áreas florestais, é necessário o estabelecimento de limites e critérios que visam otimizar o aproveitamento desses resíduos pelas árvores e proteger o meio ambiente, visto que, em

alguns casos, os resíduos gerados são constituídos por substâncias que podem ser tóxicas às plantas e animais.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi avaliar a utilização dos resíduos de curtume como fonte de nutrientes para o crescimento inicial de clones de híbrido de *Eucalyptus grandis* com *Eucalyptus urophylla*, tentando-se chegar às doses ótimas a serem aplicadas no solo.

2- REVISÃO DE LITERATURA

2.1- Setor Florestal Brasileiro

Segundo o Serviço Florestal Brasileiro (2010), o território brasileiro possui 60,7% de florestas, sendo 7,6 milhões de hectares de florestas certificadas. A área de florestas com eucalipto está em franca expansão na maioria dos estados brasileiros com tradição na silvicultura desse grupo de espécies, ou em estados considerados como novas fronteiras da silvicultura. Ela possui um crescimento médio no país de 7,1% ao ano entre 2004-2009, fazendo com que sejam responsáveis por quase 67% da área total de florestas plantadas no Brasil. Essa expansão, que está demonstrada na Figura 1, é resultado de um conjunto de fatores que vêm favorecendo o plantio em larga escala deste gênero. Entre os aspectos mais relevantes estão o rápido crescimento em ciclo de curta rotação, a alta produtividade florestal, a expansão e direcionamento de novos investimentos por parte de empresas de segmentos que utilizam sua madeira como matéria prima em processos industriais. Em particular, as expansões previstas no segmento de celulose e papel têm sido a alavanca do crescimento nas áreas plantadas deste grupo de espécies (ABRAF, 2010).

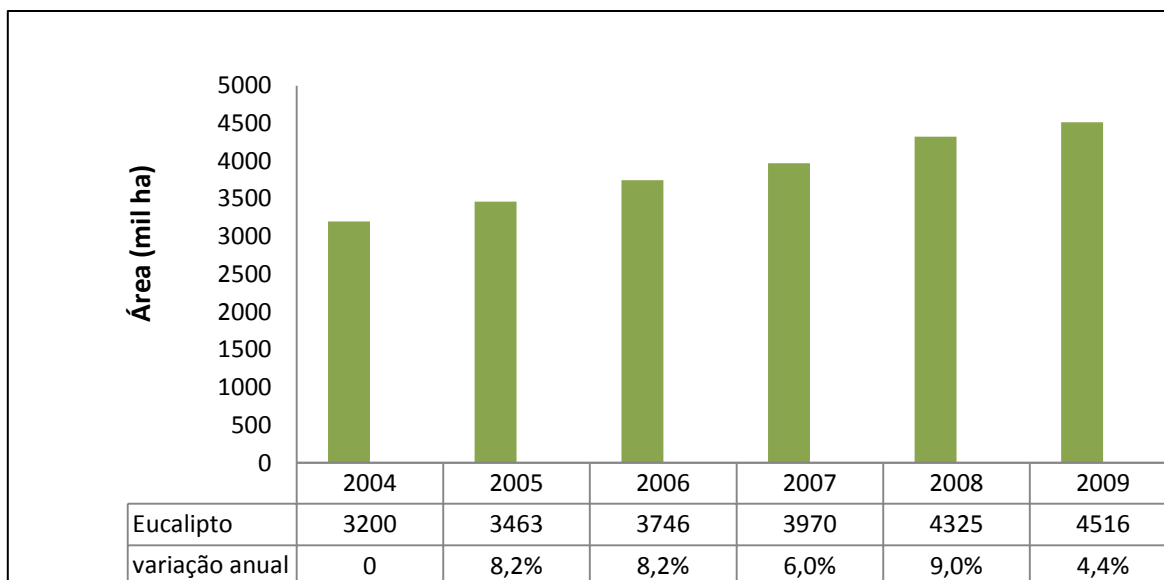


Figura 1. Evolução da área de florestas plantadas com eucalipto no Brasil no período de 2004 a 2009 (ABRAF, 2010).

O setor florestal é responsável por gerar 615,9 mil empregos formais, por exportar cerca de US\$7,2 bilhões e por importar US\$1,6 bilhão, ajudando bastante o saldo favorável da balança comercial brasileira. Os principais importadores de produtos madeireiros do nosso país são Estados Unidos, China e Holanda, sendo esses últimos os maiores compradores de madeira certificada (SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO, 2010).

2.2- Processo de Curtimento de Peles

De forma geral, couro é uma pele animal devidamente conservada que passou por processos de limpeza (ribeira), de estabilização (dada pelo curtimento) e de acabamento, para a confecção de diversos produtos de acordo com a sua finalidade: calçados, peças de vestuário, revestimentos de mobília e de estofamentos de automóveis, bem como de outros artigos. (PACHECO, 2005).

O processo produtivo desses variados tipos de couro é diversificado, existindo diferentes tipos de curtumes que empregam metodologias diversificadas para realizar o curtimento de peles. Segundo Figueiredo et al. (2000), os produtos promotores do

curtimento estão entre as particularidades do processo. Pacheco (2005) classificou os curtumes conforme a realização parcial ou total das etapas do processo, podendo ser: curtume integrado, o qual realiza todas as etapas; curtume “wet-blue” onde se realiza operações até o curtimento das peças; curtume semi acabado, o qual recebe as peças de “wet-blue” e faz o pré acabamento, também chamado de “crust”; e curtumes de acabamento, os quais recebem o “crust” e fazem somente o acabamento nos mesmos.

2.2.1- Conservação das Peles

Para se obter maior sucesso no processo de curtimento de peles, gerando um couro de maior qualidade, são necessárias medidas de conservação desde o início do manejo do rebanho, como o controle de parasitas e formas adequadas de identificação, condução, confinamento e transporte dos animais (PACHECO, 2005).

A conservação tem como principal finalidade a preservação da pele, interrompendo o seu processo de decomposição, que tem início logo após o abate e esfolamento do animal (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003). Geralmente as peles são armazenadas e transportadas até os curtumes onde entrarão no processo de curtimento; esse processo pode ser demorado, exigindo então, a adoção de técnicas de conservação das peles.

Os sistemas de conservação atualmente mais empregados são os que utilizam o cloreto de sódio. Este sal é um produto de elevada solubilidade em água e causa um efeito de desidratação nas peles e bactericida secundário. A quantidade de sal empregada é elevada, devendo ser de, no mínimo, 30 a 40 % sobre a massa da pele (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003). A desvantagem do emprego do cloreto de sódio consiste na produção de efluentes com uma maior quantidade de sódio.

2.2.2- Pré tratamento ou Ribeira

É constituída por um conjunto de operações que têm como finalidade a eliminação de estruturas indesejadas que não irão constituir o produto final, além de realizarem o preparo das peles para as etapas de curtimento e acabamento. A ribeira é constituída, basicamente por: classificação, pré remolho, remolho, caleiro e depilação, pré

descarne, descarne, desencalagem, purga e piquel (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003), as quais encontram descritas a seguir:

Classificação: etapa de separação das peles em grupos de acordo com o grau de conservação. As peles que apresentam perda de pelos antes do processamento devem ter sua epiderme removida.

Pré Remolho: consiste basicamente na lavagem das peles, com isso atinge-se dois objetivos: o primeiro é a retirada do cloreto de sódio aplicado no pré tratamento, e o segundo é a hidratação parcial das peles.

Remolho: é o processo de limpeza e condicionamento das peles para as etapas seguintes. Neste processo procura-se repor a quantidade de água que a pele tinha antes de iniciar sua conservação.

Pré Descarne: consiste no processo de retirada de estruturas aderidas às peles advindas do abate, como restos de carne e gorduras.

Caleiro e Depilação: Os principais objetivos deste processo são: retirada de pelos; remoção da epiderme; intumescimento e separação das fibras e fibrilas da derme; promover eliminação mais completa da hipoderme no descarne; ação sobre as gorduras naturais da pele remanescentes do remolho; modificação das moléculas de colágeno, transformando alguns grupos reativos e algumas ligações entre as fibras; possibilidade de dividir em tripa e preparação da pele para os processos seguintes, em especial o curtimento (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003).

O produto mais utilizado na operação de caleiro é a cal sulfeto, que reage com as peles, o que caracteriza a etapa como sendo de natureza alcalina, e tem como consequência a abertura de poros, saída dos pêlos e abertura das fibras, possibilitando melhores resultados nas etapas de curtimento. Nessa etapa utiliza-se em torno de 20 a 50 gramas de cal hidratada e 20 a 40 gramas de sulfeto de sódio, por quilograma de pele. Isso classifica o caleiro como uma das operações que geram maior quantidade de resíduos, além de possuir um elevado consumo de água, sendo de, aproximadamente, 30000 L Mg⁻¹ de pele (CLASS & MAIA, 1994; BARROS et al., 2001; MARTINES, 2005)

Descarne: é a operação mecânica onde se remove a camada hipodérmica (gordura) e a camada inferior da pele que estava ligada à carcaça do animal.

Divisão: Operação que tem por finalidade dividir as peles em tripa, ou os couros wet-blue. A camada superior que contém ou continha os pelos é denominada flor e a inferior raspa (HOINACKI, 1994; MOREIRA & TEIXEIRA, 2003). Com isso as peles são divididas em parte superior e parte inferior.

Desencalagem: etapa onde são retiradas as substâncias alcalinas da pele, resultando na diminuição do seu pH. É uma etapa importante para melhorar as condições de penetração dos agentes curtidores. Para isso, podem ser aplicados sais amoniacais e ácidos.

Purga: é realizada no banho da desencalagem, e é a etapa de limpeza fina das peles ou tripas (restos de pelos, materiais queratinosos, entre outros).

Piquel: tem como finalidade separar as fibras do colágeno para uma fácil penetração dos produtos promotores do curtimento. Nesta etapa são utilizados: cloreto de sódio (60,0 a 100,0 g kg⁻¹ de pele), ácido sulfúrico (10,0 a 15,0 g kg⁻¹ de pele), ácido fórmico (5,0 a 10,0 g kg⁻¹ de pele); além disso, a quantidade de água consumida no processo é de, aproximadamente, 1000 L Mg⁻¹ de pele (CLASS & MAIA, 1994; MARTINES, 2005)

2.2.3- Curtimento

O curtimento é um processo que consiste na transformação das peles, pré-tratadas na ribeira, em materiais estáveis e imputrescíveis, ou seja, a transformação das peles em couros. Pode ser classificado em três tipos principais: mineral, vegetal e sintético (PACHECO, 2005).

No Curtimento mineral, o processo com cromo é o mais utilizado atualmente, pelo tempo relativamente curto de processo e pela qualidade que confere aos couros em suas principais aplicações. Para isso costuma-se utilizar o sulfato básico de cromo, no qual o cromo se encontra na forma trivalente.

O curtimento vegetal, normalmente à base de taninos, é geralmente utilizado para produção de solado e de alguns tipos especiais de couro, bem como em combinação com os outros tipos de curtimento. A utilização de taninos faz com que o processo seja bastante oneroso, com isso os mesmos são utilizados ao máximo, minimizando desperdícios. Na maioria das vezes, faz-se apenas a reposição de solução da parte absorvida pelas peles do lote anterior.

No curtimento sintético, são empregados curtentes, em geral orgânicos, que proporcionam um curtimento mais uniforme e aumentam a penetração de outros curtentes, sendo mais usados como auxiliares de curtimento (PACHECO, 2005).

2.2.4- Acabamento

Constitui-se em um conjunto de etapas que visam conferir a base de algumas propriedades físicas e mecânicas, além de dar forma e dimensões adequadas ao couro.

O acabamento molhado é a primeira etapa após o curtimento, onde são realizadas operações de descanso das peles, enxugamento, rebaixamento, recorte, neutralização, recurtimento, tingimento e enxágüe (PACHECO, 2005). Portanto, a principal função dessa etapa é de melhorar algumas características geradas pelo curtimento.

O pré acabamento é responsável por uma parte da retirada de água do couro e por conferir características que ainda não haviam sido geradas nas etapas anteriores como polimento, amaciamento e recorte (FIGUEIREDO et al, 2000)

O acabamento final tem como principal finalidade proporcionar a melhoria dos aspectos e servir ao mesmo tempo de proteção para o couro. Esta etapa é constituída de aplicações de tinta de fundo e cobertura e das prensagens intermediária e final (MOREIRA & TEIXEIRA, 2003).

2.3- Impactos Ambientais

As indústrias de curtimento de peles possuem grande potencial poluidor. Isso ocorre devido à grande quantidade de insumos utilizados no processo e às diversas etapas necessárias para transformar as peles animais em couro. Segundo Class & Maia (1994), resíduos sólidos, líquidos e gasosos são gerados durante as diversas etapas do processo, sendo que os impactos ambientais potenciais das indústrias desse setor são muito elevados. Com isso, é de extrema importância a adoção de técnicas de manejo visando o uso racional de insumos, reutilização de matérias primas e tratamento de efluentes.

2.3.1- Insumos Utilizados

As indústrias do setor de curtimento de couro possuem um consumo muito elevado de água, a qual é empregada nas mais variadas etapas do processo. O volume de água utilizado irá depender de diversos fatores como tipo do curtume, manejo das peles, metodologia aplicada, utilização de outros insumos e finalidade do couro.

Segundo Pacheco (2005), o consumo médio de água em um curtume é de 25 a 30 m³ Mg⁻¹ de pele salgada, o que equivale a, aproximadamente, 630 litros de água por pele. O autor ainda fala que um curtume que processa três mil peles por dia terá um consumo de 1.900.000 de litros de água por dia, que é equivalente ao consumo diário médio de 10.500 habitantes.

Outros insumos de grande importância utilizados no processo são os produtos químicos que podem ser divididos conforme a etapa do processo e exemplificados a seguir (CLASS & MAIA, 1994; PACHECO, 2005):

- Conservação de peles: o insumo mais utilizado nessa etapa é o cloreto de sódio, mas alguns inseticidas, fungicidas e bactericidas também podem ser empregados conforme a necessidade.
- Ribeira: nesse processo podem ser utilizados diversos tipos de produtos como álcalis, hipoclorito de sódio, ácidos graxos, soda cáustica, sulfeto de bário, diversos tipos de ácidos, enzimas, e variados tipos de solventes, compreendendo todas as etapas do processo de ribeira. Essa também é a etapa que utiliza uma maior quantidade de água.
- Curtimento: os produtos químicos utilizados nessa etapa dependem do tipo de curtimento que se deseja, como exemplos podemos citar o sulfato básico complexo de Cr⁺³, sais diversos, agentes basificantes, enxaguantes, fungicidas, resinas, taninos e branqueadores.
- Acabamento: nessa etapa utiliza-se diversos sais, taninos, agentes complexantes, corantes, enxofre, óleos animais, vegetais e minerais, polímeros termoplásticos, tintas e solventes (CLASS & MAIA, 1994; PACHECO, 2005).

2.3.2- Resíduos Gerados

A utilização de grande quantidade de insumos durante todo o processo de manejo das peles nas empresas de curtume resulta numa grande quantidade de efluentes gerados. Class & Maia (1994) classificaram os resíduos das indústrias de processamento de couro em três tipos: sólidos, líquidos e gasosos.

Entre os principais resíduos sólidos gerados no curtume, assim como suas quantidades geradas aproximadas, temos: sal (60 kg Mg^{-1} de pele); aparas de peles caleadas e não caleadas (120 kg Mg^{-1} de pele); carnaça (70 a 350 kg Mg^{-1} de pele), que consiste em restos de gorduras e carne; aparas e farelos de couro curtido (225 kg Mg^{-1} de pele); e lodos da estação de tratamento de efluentes (7500 kg Mg^{-1} de pele) (PACHECO, 2005). Os efluentes líquidos também são gerados em todas as etapas do processo e seu volume é muito próximo ao volume de água que entra no sistema (PACHECO, 2005).

O conjunto de etapas da ribeira é o que gera maior quantidade de resíduos líquidos, sendo responsável por até 70% do total gerado no processo todo, e são geradas cerca de $21,6 \text{ m}^3$ de efluentes por tonelada de couro processado. Esse resíduo é altamente alcalino devido à grande quantidade de cal hidratada utilizada no caleiro. Além da cal, esse resíduo contém elementos como pelos, gorduras, carnes e sangue. Em suspensão é constituído por sais, proteínas e aminoácidos diversos, além de amins e, eventualmente, alguns biocidas (PACHECO, 2005)

O efluente líquido gerado no curtimento é constituído por um líquido escuro com pH baixo, podendo apresentar elevada DQO (Demanda Química de Oxigênio) e DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio). O mesmo geralmente é constituído por sal, ácidos minerais e orgânicos, cromo e taninos. A quantidade total gerada nessa etapa é de, aproximadamente, $7,0 \text{ m}^3$ de resíduo por tonelada de pele processada (CLASS & MAIA, 1994)

A etapa de acabamento é a que possui menor potencial poluidor, pois somente o acabamento molhado gera efluentes líquidos, com uma produção aproximava de $3,43 \text{ m}^3$ de resíduo por tonelada de pele processada. Entre as substâncias encontradas no efluente líquido da etapa de acabamento molhado, temos: sais diversos, cromo, taninos, graxas, corantes e alguns solventes (PACHECO, 2005)

A emissão de efluentes gasosos também acontece em todas as etapas do processo, sendo principalmente amônia, proveniente da decomposição de parte das proteínas das peles no armazenamento; gás sulfídrico, amônia e subprodutos aminados, na ribeira; solventes volatilizados e partículas de poeira de rebaixadeira em suspensão, no acabamento.

2.4- Legislação

A Norma Técnica P4.233 da CETESB de setembro de 1999 estabelece os procedimentos para a apresentação de projetos, bem como os critérios e requisitos para a utilização de lodos de curtume em áreas agrícolas, visando o atendimento de exigências ambientais. A aprovação do ponto de vista ambiental da aplicação de lodos na agricultura depende da apresentação de um projeto a ser submetido à apreciação da CETESB. Esse projeto deve seguir um roteiro com as seguintes informações e especificações (CETESB, 1999):

- Caracterização da instalação de tratamento dos efluentes
- Caracterização do lodo
 - Caracterização quanto à composição e presença de patógenos
 - Caracterização quanto à mineralização do nitrogênio
- Caracterização do local de aplicação
 - Identificação do local
 - Localização
 - Caracterização do solo
- Taxa de aplicação
- Forma de tratamento, armazenamento e transporte do lodo
- Plano de aplicação e manejo
 - Plano de aplicação
 - Plano de manejo da área
- Planos de Operação e Monitoramento

- Certificado Agrônômico
- Informações Adicionais

A referida Norma Técnica ainda caracteriza os lodos quanto à presença de patógenos e tratamento de redução de patógenos sendo eles:

Classe A, se o processo adotado para o seu tratamento, quanto à redução adicional de patógenos, for aprovado pelo órgão de controle ambiental, como capaz de produzir este efeito. Deve ainda ser analisado quanto à presença de coliformes fecais e *Salmonella sp*, no momento de seu uso ou disposição no solo agrícola ou no momento da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação. O lodo deve atender aos seguintes limites para a densidade dos organismos especificados:

- para coliformes fecais, densidade inferior a 10³ NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais);
- para *Salmonella sp*, densidade inferior a 3 NMP/4g ST (Número Mais Provável por 4 g de Sólidos Totais)

Classe B, se a densidade de coliformes fecais do mesmo for inferior a 2 x 10⁶ NMP/g ST . Para confirmação da classificação de um lodo como classe B, deve ser verificado o atendimento de, no mínimo, uma das condições abaixo:

- o processo adotado para seu tratamento visando a redução de patógenos tiver sido aceito pelo órgão ambiental, ou
- o resultado do monitoramento de coliformes fecais no lodo preparado para aplicação no solo, no momento do uso, disposição ou da entrega a terceiros responsáveis pela aplicação, indicar que a média geométrica da densidade de coliformes fecais de sete amostras é inferior a 2 x 10⁶ NMP/g ST (Número Mais Provável por grama de Sólidos Totais) ou 2 x 10⁶ UFC/g ST (Unidades Formadoras de Colônias por grama de Sólidos Totais).

Os resíduos de curtume ainda podem ser caracterizados como fertilizantes orgânicos ou corretivos, visto às descrições do decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que descreve os seguintes tipos de fertilizantes (Brasil, 2004):

- Fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;
 - Fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
 - Fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;
 - Fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas;
- Corretivo: produto de natureza inorgânica, orgânica ou ambas, usado para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, isoladas ou cumulativamente, ou como meio para o crescimento de plantas, não tendo em conta seu valor como fertilizante, além de não produzir característica prejudicial ao solo e aos vegetais, assim subdividido; e
 - Corretivo de acidez: produto que promove a correção da acidez do solo, além de fornecer cálcio, magnésio ou ambos.

O MAPA, através da Instrução Normativa nº 25, de 31 de julho de 2009, classifica os fertilizantes orgânicos, e os resíduos de curtume são enquadrados como Fertilizante Orgânico Classe B que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura. A mesma Instrução Normativa impõe especificações aos fertilizantes orgânicos, sendo que os Fertilizantes Orgânicos Simples devem possuir 40 % de umidade máxima, teores mínimos de 15% de carbono orgânico e 0,5% de nitrogênio; já os Fertilizantes Orgânicos Mistos e Compostos

deverem possuir apenas um teor máximo de 50% de umidade e pH mínimo de 6,0 (Brasil, 2005).

A Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006, também do MAPA, em seu artigo 1º diz que os fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos na Tabela 1 para corretivos e na Tabela 2 para fertilizantes orgânicos, que se referem às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas (Brasil, 2006).

Tabela 1. Limites máximos de metais pesados tóxicos admitidos em corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e para silicato de cálcio, silicato de magnésio, carbonato de cálcio e magnésio e escória silicatada.

Metal Pesado	Valor máximo admitido (mg/kg)
Cádmio	20
Chumbo	1000

Fonte: Brasil (2006)

Tabela 2. Limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos.

Contaminante	Valor máximo admitido
Arsênio (mg/kg)	20,00
Cádmio (mg/kg)	3,00
Chumbo (mg/kg)	150,00
Cromo (mg/kg)	200,00
Mercúrio (mg/kg)	1,00
Níquel (mg/kg)	70,00
Selênio (mg/kg)	80,00
Coliformes termo tolerantes – número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos – número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
<i>Salmonella sp.</i>	Ausência em 10g de matéria seca

Fonte: Brasil (2006)

A lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), caracteriza como resíduo sólido o material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, e cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Isso faz com que alguns tipos de resíduos de curtume sejam enquadrados nessa categoria, estando sujeitas às exigências dessa lei para o uso, disposição e transporte.

Ainda sobre a PNRS, deve-se ressaltar o artigo nono da mesma lei, que destaca a ordem de prioridades das ações no gerenciamento de resíduos sólidos, as quais são: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamentos dos resíduos e, por fim, a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos (Brasil, 2010). Caso as primeiras

etapas desse gerenciamento sejam contempladas e mesmo assim ocorrer a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos, a utilização de técnicas de tratamento e disposição adequadas desses resíduos se tornam imprescindíveis e ganham uma importância ainda maior. Isso ocorre com a maioria dos curtumes, pois altos níveis de aproveitamento e reutilização de agentes de curtimento são vitais, não só para o meio ambiente, mas também para a economia, isso porque esses produtos possuem preços muito elevados. Ainda sobre o artigo 9º, no parágrafo 1, a lei diz que poderão ser utilizadas tecnologias visando à recuperação energética dos resíduos sólidos, ou seja, a incineração do mesmo. No artigo 54, que retoma o primeiro parágrafo do artigo 9, é informado que a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos deverá ser implantada até 02/08/2014. Com isso espera-se que a opção de incineração não seja considerada ideal para os resíduos orgânicos com potencial agrônomo, pois inviabilizariam a utilização desses como fonte de nutrientes para a agricultura e florestas.

2.5- Utilização do Lodo de Curtume na Agricultura

Segundo Pires & Mattiazzo (2008), os aterros sanitários são a principal destinação dos resíduos no Brasil, sendo que a maior parte desses não são totalmente controlados e não atendem a um padrão de qualidade ambiental satisfatório. Mesmo os que atendem totalmente as exigências da legislação ambiental, podem não ser a melhor destinação para os resíduos.

A aplicação de resíduos no solo é uma prática cada vez mais utilizada nos últimos anos. Nos Estados Unidos e Europa foram publicadas regulamentações específicas sobre a utilização de lodos de esgoto em solos, as quais estabelecem limites para concentrações de metais pesados no lodo e taxas de aplicação; necessidade de controle de organismos patogênicos; restrições quanto à seleção da área e uso em determinados tipos de cultura e critérios de manejo. Devido ao seu elevado teor de nitrogênio e potencial de neutralização da acidez do solo, a utilização de lodos de curtumes em áreas agrícolas pode ser uma alternativa de reaproveitamento desses resíduos. Para a aplicação de lodos de curtumes em áreas de uso agrícola, adotou-se a premissa de que, desde que atendidos critérios que garantam a minimização de riscos de poluição, tal prática deve proporcionar um benefício agrícola para a cultura e/ou melhoria na utilização da área (CETESB, 1999).

Do ponto de vista econômico, o uso dos resíduos como fertilizante orgânico representa o reaproveitamento integral de seus nutrientes e a substituição de parte das doses de adubação química sobre as culturas, com rendimentos equivalentes ou superiores aos conseguidos com fertilizantes comerciais (UNITED STATES, 1980). Isso se torna ainda mais viável, economicamente, pois os resíduos, geralmente, possuem baixo valor agregado; em alguns casos os mesmos são fornecidos sem custo algum ao agricultor, visto que seu uso também é rentável para os geradores dos resíduos, já que deixam de pagar pela disposição do mesmo em aterros sanitários.

Wadt et al. (2009) afirmaram que a utilização de lodo de curtume na agricultura representa uma alternativa para a melhoria da produtividade e a reabilitação de áreas degradadas, favorecendo o processo produtivo.

2.6- Utilização do Lodo de Curtume em Espécies Florestais

Possato (2010) relatou o maior crescimento em altura de plantas de eucalipto submetidas a tratamentos com doses de lodo de curtume, e esse crescimento foi maior conforme se elevou a dose do resíduo. Além disso, o autor relatou influência nos teores de N, K e Na na parte aérea e nas raízes das plantas, Ca nas raízes e Mg na parte aérea. Em relação à maior quantidade de Na encontrada nas plantas dos tratamentos com lodo de curtume, o autor relata que o elemento não foi prejudicial às mudas visto o crescimento em altura das mesmas, descartando-se a ação tóxica do sódio nas plantas. Outro aspecto ressaltado foi a elevação do teor de cromo nas raízes acompanhar a elevação das doses aplicadas, porém a presença desse metal ficou limitada às raízes. Com isso o autor sugere que a razão da ausência de cromo na parte aérea das plantas se deve ao teor acumulado do metal não ser suficiente para ultrapassar o potencial de acúmulo nas células das raízes, nem mesmo no tratamento que recebeu a maior dose do resíduo de curtume.

Araujo et al. (2006) utilizaram lodo de curtume suplementado com fósforo e potássio e inoculação de *Bradyrhizobium spp.* para fornecimento de nutrientes em leucena (*Leucaena leucocephala*) e algaroba (*Prosopis juliflora*), avaliando o crescimento em altura e diâmetro, massa seca de planta, além da quantidade de massa seca de nódulos nas raízes. Verificou-se a dose de 11,63 Mg ha⁻¹ de lodo proporcionou os melhores resultados,

visto que a *Leucena* apresentou maior crescimento em diâmetro e altura, e ambas as espécies tiveram maior produção de massa seca. Em relação à nodulação (massa seca e número de nódulos) para *Leucena*, o melhor resultado também foi observado com a utilização de 11,63 Mg ha⁻¹ de resíduo, enquanto que para *Algaroba* relatou-se melhor nodulação com a aplicação de 23,25 Mg ha⁻¹ de lodo.

Em estudo que analisou a viabilidade da aplicação de lodo de curtume em teca (*Tectona grandis*), Campos et al. (2010) verificaram que a quantidade de nitrogênio e enxofre foram maiores nas plantas em que se adicionou os resíduos, porém, devido à grande quantidade de sódio nele presente, o crescimento das plantas foi inibido quando aplicou-se doses de 30 a 150 Mg ha⁻¹ de lodo. Os autores também sugeriram a aplicação de menores doses de lodo com a finalidade de se fornecer os nutrientes desejados às mudas, sem que ocorra o efeito negativo do sódio.

A utilização de 3% de lodo de curtume em substrato comercial atua positivamente no desenvolvimento de mudas de jacarandá (*Jacaranda cuspidifolia*) elevando o crescimento em altura e diâmetro das mesmas, além da produção de maior número de folhas. A utilização de 12 e 15% de lodo no substrato atua de maneira negativa, provocando, aparentemente, a diminuição da porosidade e capacidade de infiltração de água nos tubetes (FRANKZAC et al., 2008).

Silva & Araujo (2011) estudaram o rendimento de mudas de Angico Branco, Angico Vermelho e de Eucalipto produzidas com substrato contendo diferentes proporções de lodo de curtume. O lodo utilizado foi proveniente da etapa de depilação e caleiro, contendo grande quantidade de cálcio, além de ser um material extremamente alcalino. Foram utilizadas doses de 5 a 25% de lodo em substrato comercial, o que resultou em efeito negativo às mudas de angico, tanto o branco quanto o vermelho, e efeito positivo nas mudas de eucalipto, sendo 15% a melhor dose de resíduo.

Tavares (2010) trabalhou com lodo de curtume adicionado em substrato para a produção de mudas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) e concluiu que as características morfológicas das mudas de Paricá não foram afetadas pelo uso do lodo do curtimento e que este propiciou aumento nos teores de K e S-SO₄ na parte aérea, e Na e S-SO₄ na raiz também observou que os maiores teores de nutrientes no paricá foram obtidos com 6 g de lodo de curtimento por cada kg de solo.

Espécies florestais podem ser usadas na fitorremediação de solos contaminados, absorvendo metais pesados e fazendo com que o solo fique livre dos mesmos, estando aptos à agricultura. Os efeitos sobre as espécies florestais não são preocupantes, pois, normalmente, essas não são usadas para alimentação. Shukla et al. (2011) avaliaram o potencial fitorremediador de espécies lenhosas em solos contaminados com resíduo de curtume e constataram que o *Eucalyptus tereticornis* apresentou grande capacidade de acumulação de Fe, Cu, Mn e Zn, enquanto que as espécies *Terminalia arjuna*, *Prosopis juliflora* e *Dendrocalamus strictus* se mostraram eficientes em acumulação de Cd, Cr, Ni e Pb. Por este motivo, os autores as recomendaram para minimizar o impacto ambiental de resíduos industriais, com a necessidade de escolha da espécie de acordo com as características do resíduo contaminante. Resultado semelhante foi encontrado por Sakthivel & Vivekanandan (2009) em estudo utilizando três espécies de árvores (*Melia azedarach*, *Azadirachta indica* e *Leucaena leucocephala*) também para fitorremediação em solos com resíduos de curtume. Elas foram eficientes em acumular cromo, deixando o solo com teores mais baixos desse metal pesado. Outros autores que estudaram os efeitos de fitorremediação de solos contendo resíduo de curtume foram Giachetti & Sebastiani (2007), que observaram a eficiência do Salgueiro (*Salix alba*) em reter B, Mn, Cu, Fe e Cr e concluíram que a espécie é promissora para essa finalidade..

A utilização de lodo de curtume (45 e 90 g de resíduo, base seca, em 19,6 litros de solo) em Salgueiro (*Salix alba*) resultou em um crescimento em diâmetro do caule, área foliar e produção de biomassa de raiz, caule e folhas, tendo-se encontrado os melhores resultados nos tratamentos com maiores doses de resíduo, em todos os parâmetros analisados (GIACHETTI & SEBASTIANI, 2007)

2.7- Efeito da aplicação de lodo de curtume nos atributos químicos e biológicos do solo

Konrad & Castilhos (2001) avaliaram a atividade da microbiota do solo durante 240 dias de incubação pela medição do acúmulo de CO₂ liberado. Os autores observaram que o resíduo do caleiro apresentou liberação de C-CO₂ significativamente maior em relação à testemunha, porém ela foi relatada nos tratamentos contendo lodo com cromo + calcário, adicionando ao solo um maior teor de carbono orgânico, sendo 8,2 g kg⁻¹ para o

tratamento lodo com cromo na dose de 27.550 kg ha⁻¹ e 3,1 g kg⁻¹ para o tratamento lodo do caleiro aplicado na dose de 20.500 kg ha⁻¹.

Cavallet & Selbach (2008) avaliaram a população microbiana em solos submetidos a doses crescentes de dois tipos de lodo de curtume, um gerado no curtimento com cromo e outro no curtimento com tanino. Onde foi aplicado lodo de curtimento com Cr, não houve diferenciação nas populações de fungos, porém houve aumento desses nos tratamentos com aplicação de lodo de curtimento com tanino, ainda que somente nas menores doses (15 e 30 Mg ha⁻¹), com relação às bactérias no solo, observaram que ocorreu aumento em todos os tratamentos com lodos de curtume, com maior expressão nas maiores doses, resultado semelhante ao que ocorreu com as populações de actinomicetos, porém o aumento significativo só ocorreu na dosagem de 30 Mg ha⁻¹ para o lodo com Cr e 60 Mg ha⁻¹ para o lodo de curtimento com tanino. Outro aspecto importante observado pelos pesquisadores foi que a aplicação de ambos os tipos de lodos em nenhum momento ocasionou diminuição das populações de bactérias, fungos e actinomicetos no solo quando comparada com o tratamento controle, esterco e formulação mineral.

Já Konrad & Castilhos (2001) utilizaram dois tipos de lodos provenientes de caleiro e curtimento de cromo para avaliar a população microbiana no solo. Eles descreveram que, após 70 dias de incubação, a população de bactérias não apresentou diferenças significativas, a contagem de fungos foi maior no lodo com cromo e a população de actinomicetos se desenvolveu melhor no lodo do caleiro. A maior incorporação de carbono orgânico, assim como os efeitos nutricionais e corretivos do lodo com cromo, proporcionaram um aumento na população de fungos e actinomicetos em relação ao tratamento NPK + calcário, respectivamente em 1,24 e 0,59 unidades log UFC (unidade formadora de colônia) g⁻¹ solo. Os autores ainda destacaram que a aplicação de lodo do caleiro ao solo não proporcionou diferenças significativas em relação ao tratamento NPK + calcário na avaliação da população de bactérias e fungos, mas promoveu um estímulo sobre a população de actinomicetos, aumentando-a em 1,25 unidades log UFC g⁻¹ solo, quando comparado ao tratamento NPK + calcário.

De acordo com Alcantara et al. (2007) a adição de doses crescentes de lodos de curtume resultou em maiores quantidades de N mineralizado acumulado no sistema solo-lodo. Porém, quando a mineralização foi comparada em termos de porcentagem em

relação ao fornecido pelo lodo (Nm%), tal aumento não pôde ser evidenciado. Quando se leva em conta os dados de Nm%, percebe-se que quando foi aplicado lodo de caleiro (LCL), com baixa concentração de Cr, os valores de Nm% variaram 35,5%, em média. Com a aplicação de lodo do decantador primário (LCR), rico em Cr, o Nm% variou, em média, 4,0%; ou seja, com a aplicação de LCR a mineralização do N foi significativamente menor do que com a aplicação de LCL. Tais resultados podem ocorrer devido ao fato do Cr existente em concentrações elevadas no LCR inibir a mineralização do N.

Martines et al. (2010), em estudo sobre a volatilização da amônia em solos tratados com resíduos de curtume, obtiveram que a quantidade de NH_3 volatilizado aumentou com a dose de lodo aplicado, e foi mais intensa durante os primeiros 30 dias, após o qual as perdas diminuíram acentuadamente. Os autores ainda mostraram que a maior volatilização nos primeiros dias após a aplicação do lodo foi devido ao aumento de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ no solo, derivado do lodo de curtume, atingindo 1200 kg ha^{-1} N total.

Os resíduos gerados no curtume, principalmente os produzidos na etapa de depilação e caleiro, possuem um grande potencial de neutralização da acidez do solo. Isso ocorre devido às grandes quantidades de cal hidratada usado nesta etapa de pré tratamento dos couros. Diversos autores relataram esse potencial alcalino dos resíduos de curtume, entre eles. Kray et al. (2008) observaram que os resíduos de curtume possuem potencial corretivo no solo similar aos do calcário, porém exige maiores quantidades do que o produto de origem mineral. Os autores verificaram uma elevação do pH de 4,9 ao intervalo de 5,5 a 6,5.

Gianello et al. (2011) estudaram os valores de pH médios de três solos submetidos à aplicação de resíduos de curtume, determinados na camada superficial em duas amostragens. Eles observaram que, tanto as adições de calcário, como de lodo de curtume foram eficientes no aumento do pH até valores próximos aos desejados (5,9 na segunda e 6,8 na terceira aplicações dos resíduos), com base no poder de neutralização deles. Os autores ainda observaram que aplicações simultâneas do resíduo em intervalos de tempo curtos, podem fazer com que o pH do solo se eleve muito, podendo agir de maneira prejudicial às culturas.

Outro autor a observar o efeito corretivo de acidez do solo foi Possato (2010), que relatou elevação do pH do solo de 4,5, em solo sem aplicação de resíduo e calcário, para 5,4 em solo com aplicação de 12 Mg ha^{-1} de lodo de curtume. Da mesma forma,

Castilhos et al. (2002), na amostragem realizada após 70 dias da aplicação de lodo de curtume no solo, constataram que os tratamentos com aplicação de calcário ou de lodo apresentaram valores de pH entre 5,8 e 6,2, concluindo que a aplicação de lodo aumentou o pH a valores estatisticamente superiores aos da testemunha e semelhantes aos da maioria dos tratamentos com calcário. Ferreira et al. (2003) verificaram que a adição de lodo de curtume no solo elevou o pH de 4,9 para a faixa de 6,0 a 6,3.

A reposição de nutrientes extraídos pela colheita das culturas é um dos principais objetivos desejados quando se aplica resíduos em solos, visto que essa utilização de lodos e rejeitos só é permitida, pela legislação, caso resultem em benefícios ao solo e, conseqüentemente, às culturas nele produzidas. Nesse sentido, Ferreira et al. (2003) relataram uma maior concentração de Ca^{2+} em solos com aplicação de resíduos de curtume, sendo que o mesmo ocorreu com os teores de nitrogênio no solo quando submetidos à aplicação do mesmo resíduo.

Castilhos et al. (2002), em experimento com lodo de curtume aplicado em solo, relataram que a quantidade aplicada de lodo do decantador primário incorporou ao solo 563 kg ha^{-1} de N, representando um acréscimo no teor inicial de N desses solos de 0,028 %, sendo que após 70 e 210 dias esse aporte representou um aumento de 0,025 e 0,17 %, respectivamente, em relação ao N total da testemunha, valor que não diferiu dos tratamentos com NPK ou esterco bovino. Além disso, a quantidade de lodo adicionada incorporou $1,40 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca, promovendo os acréscimos constatados no solo, e a quantidade de Mg acrescida com a aplicação de lodo foi de $0,22 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Sendo assim, os teores verificados no tratamento lodo + PK foram semelhantes aos da maioria dos tratamentos com calcário e significativamente superiores aos da testemunha.

Araujo et al. (2006), em experimento com aplicação de lodo de curtume para fornecimento de nutrientes às árvores de leucena e algaroba, observaram a elevação dos teores de matéria orgânica, cálcio e magnésio nos tratamentos que continham lodo de curtume, sendo que a dose de $46,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo foi a que mais forneceu matéria orgânica e cálcio para o solo. Já para magnésio a dose ótima foi a de $11,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo. Outro autor a registrar a eficiência desse resíduo em fornecer nutrientes ao solo foi Possato (2010) ao relatar elevação linear na quantidade de cálcio e potássio presentes no solo, quando aplicadas as doses de $3,0$ a $12,0 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo de curtume; além disso, o autor verificou a

elevação no teor de magnésio, sendo a dose ótima de $7,8 \text{ Mg ha}^{-1}$, calculada pela equação da reta gerada pelos resultados mensurados.

Outra característica importante dos resíduos é o teor de sódio que em alguns casos pode ser bastante elevado, pois é utilizado cloreto de sódio no processo de conservação das peles, antes do curtimento, e esse sal se tornará presente nos resíduos gerados por esse tipo de indústria. Os cuidados com a quantidade de sódio aplicados no solo são importantes, pois esse mineral irá alterar o seu potencial osmótico, diminuindo a capacidade de absorção de água pelas plantas (CHEESEMAN, 1988), e devido ao fato do mesmo ser um dispersor de argilas do solo (FRENKEL et al., 1978).

Alguns autores descreveram as alterações no teor de sódio em solos submetidos a diferentes tipos e doses de resíduos de curtume, como é o caso de Araujo et al. (2006), os quais verificaram que o teor de sódio eram $0,26$ e $0,35 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$ após aplicações de $23,25$ e $46,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo de curtume, respectivamente, sendo que a testemunha, que não recebeu nenhuma aplicação, continha $0,17 \text{ cmol}_c \text{ dm}^3$ de sódio. Os autores atribuíram a diminuição na nodulação de *Bradyrhizobium spp.* nas raízes de leucena e algaroba à elevação da salinidade do solo, resultado da elevação no teor de sódio. O mesmo resultado foi relatado por Teixeira et al. (2006) em experimento muito parecido, no qual foram utilizados as mesmas doses e o mesmo resultado, porém a cultura utilizada foi a do feijão caupi.

Costa et al. (2001) observaram que a aplicação de $20,5 \text{ Mg ha}^{-1}$ de lodo de caleiro fez com que o teor de sódio no solo fosse de 136 mg kg^{-1} , enquanto que na testemunha absoluta esse teor foi de 30 mg kg^{-1} . Tal fato fez com que a condutividade elétrica do solo aumentasse mais do que três vezes, porém isso não acarretou em prejuízo às culturas estudadas. Possato (2010) também observou uma elevação linear no teor de sódio em solos com aplicação de resíduos de curtume, porém não observou danos às plantas de eucalipto estudadas, talvez pelas baixas doses aplicadas, sendo a maior delas de 12 Mg ha^{-1} de lodo de curtume.

Além do teor de sódio no solo, outro fator importante para a avaliação da qualidade do solo é o que foi chamado de Porcentagem de Sódio Trocável (PST) por Mauer (2000), que é a quantidade de sódio encontrada no solo, em relação à Capacidade de Troca Catiônica do solo (CTC). Com base em critério determinado pela FAO, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos define como solos sódicos os que apresentam PST maior ou igual a

15%; e solos solódicos os que apresentam valores de 6% a 15% em relação ao mesmo parâmetro, de acordo com critério estabelecido pela legislação dos Estados Unidos da América (SCHNEIDER & SPERA, 2006).

3- MATERIAL E MÉTODOS

3.1- Local do Experimento

O experimento foi instalado em área pertencente ao Departamento de Recursos Naturais – Ciências Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP – Campus de Botucatu. Foi conduzido de março a setembro de 2011 dentro de uma estufa plástica, como mostra a Figura 2.



Figura 2. Vista geral do experimento na estufa plástica.

3.2- Caracterização do Clima

Segundo a classificação internacional de Koppen (CUNHA et al., 1999), o clima de Botucatu é classificado como que 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.

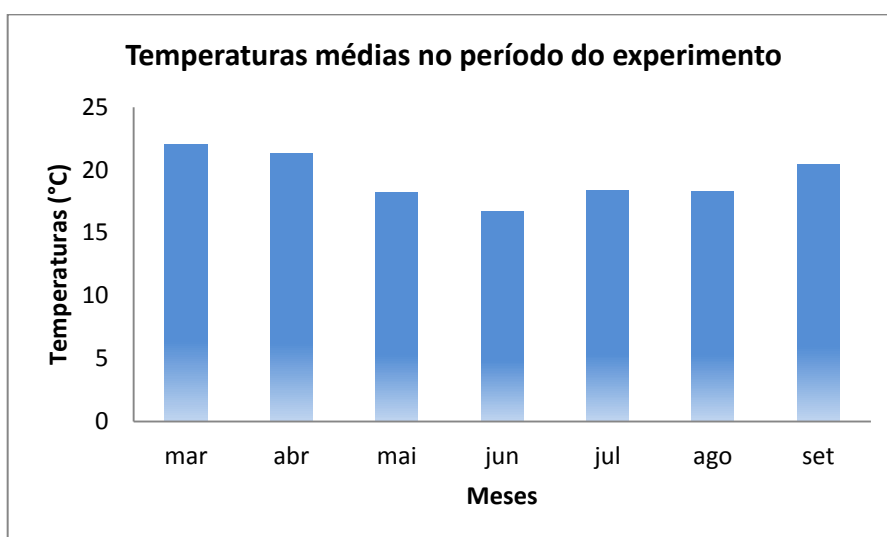


Figura 3. Temperaturas médias mensais durante a condução do experimento.

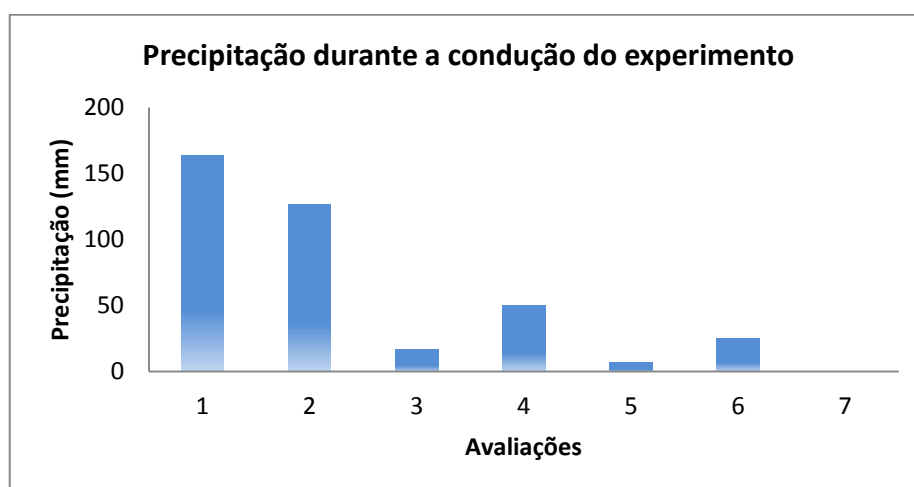


Figura 4. Precipitação mensal durante o período do experimento.

3.3- Caracterização do Solo

O solo utilizado foi o Latossolo Vermelho de textura média, coletado no Setor de Patrulha da Fazenda Experimental Lageado.

A análise química foi realizada conforme a metodologia proposta por Raij e Quaggio (1983), e os resultados estão na Tabela 3.

Tabela 3. Análise química do Latossolo Vermelho de textura média coletado no setor de patrulha da Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu.

Variáveis	Latossolo Vermelho
pH - CaCl ₂	4,0
Matéria Orgânica (M.O.)	23 g/dm ³
P _{resina}	4 mg/dm ³
Al	13 mmol _c /dm ³
H+Al	69 mmol _c /dm ³
K	0,3 mmol _c /dm ³
Ca	1 mmol _c /dm ³
Mg	1 mmol _c /dm ³
Soma de Bases (SB)	2 mmol _c /dm ³
Capacidade de Troca Catiônica (CTC)	71 mmol _c /dm ³
Saturação por Bases (V%)	3 %
S	11 mg/dm ³
B	0,36 mg/dm ³
Cu	1,1 mg/dm ³
Fe	46 mg/dm ³
Mn	0,3 mg/dm ³
Zn	0,2 mg/dm ³

3.4- Caracterização da espécie

As mudas, clones de híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, foram doadas pela Eucatex S.A. – Divisão Florestal. A espécie utilizada foi o *clone 132* 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.

3.5- Caracterizações dos resíduos utilizados

Os resíduos utilizados neste experimento foram lodo de curtume proveniente da etapa de caleiro e o composto de resíduos de curtume com bagaço de cana-de-açúcar, ambos fornecidos pela Indústria e Comércio Pioneiro LTDA

É importante ressaltar que o curtume em questão não utiliza cromo no processo de curtimento do couro, sendo o tanino o seu principal agente curtente, visto as características desejadas para o tipo de couro comercializado.

O principal resíduo de curtume utilizado na compostagem também foi o proveniente da etapa de caleiro, porém outros resíduos (lodo biológico da estação de tratamento de efluentes, aparas de couro, cinzas da caldeira e resíduo com tanino) também foram adicionados em menores quantidades. Além disso, na compostagem, a proporção utilizada foi de 50% de resíduos de curtume e 50% de bagaço de cana e a mesma foi realizada em relação ao volume e não à massa dos materiais, o que justifica o fato de alguns elementos não seguirem a razão de diluição nessa proporção.

Tabela 4. Análise química do resíduo de curtume compostado e resíduo proveniente da etapa de calcário, ambos provenientes do Curtume Pioneiro, no município de Botucatu/SP.

Variáveis	Unidade	Base Úmida		Base Seca	
		Lodo Compostado	Lodo de Calcário	Lodo Compostado	Lodo de Calcário
N		1,94	2,53	3,60	5,68
P ₂ O ₅		0,26	0,44	0,48	0,99
K ₂ O		0,26	0,25	0,48	0,56
Ca		8,78	14,69	16,27	33,00
Mg	%	1,02	0,28	1,89	0,63
S		0,46	0,26	0,85	0,58
U – 65°C		46,05	55,48	46,05	55,48
M.O.		23,42	14,50	43,41	32,57
C		19,4	10,12	35,96	22,73
Na		3135	6633	5811	14899
Cu		13	14	24	31
Fe	mg/kg	1917	2784	3553	6253
Mn		54	51	100	115
Zn		103	51	191	115
C/N		10/1	4/1	10/1	4/1
pH		8,21	12,52	8,21	12,52

As análises químicas dos mesmos foram feitas pelo Laboratório de Análise Química de Fertilizantes e Corretivos, do Departamento de Recursos Naturais - Ciência do Solo, e os resultados de macronutrientes e micronutrientes encontram-se na Tabela 4. A análise de metais pesados foi realizada no Centro de Apoio Químico (CEAQUIM) do Instituto de Biociências de Botucatu, e pode ser observada na Tabela 5.

Tabela 5. Análise de metais pesados e substâncias potencialmente tóxicas do resíduo de curtume compostado e resíduo proveniente da etapa de caleiro, ambos provenientes do Curtume Pioneiro, no município de Botucatu/SP.

Parâmetros	Teores
	mg L ⁻¹
Óleo e Graxas	2330
Fluoreto	<0,1
Cianeto	<0,1
Cádmio	0,0028
Chumbo	0,0013
Cromo Total	0,0124
Cromo VI	<0,01
Estanho	0,0021
Mercúrio	<0,0001
Níquel	0,0032
Prata	0,0034
Selênio	0,0017
Arsênio	0,0031

3.6- Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi constituído de 12 tratamentos, sendo uma testemunha absoluta, onde não se aplicou nenhum tipo de fertilizante; um tratamento com adubação inorgânica de NPK + Calcário na dose proporcional à 400 Kg ha⁻¹ de NPK (10:10:10) e de 1,97 Mg ha⁻¹ de Calcário Dolomítico com PRNT de 91,5%, que foram calculados segundo a recomendação de adubação de Rajj & Quaggio (1983); cinco tratamentos com doses crescentes de lodo de curtume compostado; e cinco doses crescentes de lodo de caleiro, como mostra a Tabela 6.

Tabela 6. Tratamentos utilizados e suas respectivas doses.

Tratamento	Doses
T1- Testemunha	-----
T2- NPK + Calagem	400 kg ha ⁻¹ + 1,97 Mg ha ⁻¹
T3- Resíduo Compostado (RCo)	5 Mg ha ⁻¹
T4- Resíduo Compostado (RCo)	10 Mg ha ⁻¹
T5- Resíduo Compostado (RCo)	20 Mg ha ⁻¹
T6- Resíduo Compostado (RCo)	30 Mg ha ⁻¹
T7- Resíduo Compostado (RCo)	40 Mg ha ⁻¹
T8- Resíduo de Caleiro (RCa)	5 Mg ha ⁻¹
T9- Resíduo de Caleiro (RCa)	10 Mg ha ⁻¹
T10- Resíduo de Caleiro (RCa)	20 Mg ha ⁻¹
T11- Resíduo de Caleiro (RCa)	30 Mg ha ⁻¹
T12- Resíduo de Caleiro (RCa)	40 Mg ha ⁻¹

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (Figura 5), visto que, apesar do experimento ter sido conduzido em estufa plástica, esta apresenta distribuição heterogênea de temperatura e umidade.



Figura 5. Visualização da disposição dos vasos em blocos.

Tabela 7. Quantidade de nutrientes presentes nas doses de cada tratamento

Dose	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	M.O.	C	Na	Cu	Fe	Mn	Zn
-----kg ha ⁻¹ -----													
5000 RCo	180	24	24	814	95	43	1171	1798	29,055	0,12	17,77	0,50	0,955
10000 RCo	360	48	48	1627	189	85	2342	3596	58,11	0,24	35,53	1,00	1,91
20000 RCo	720	96	96	3254	378	170	4684	7192	116,22	0,48	71,06	2,00	3,82
30000 RCo	1080	144	144	4881	567	255	7026	10788	174,33	0,72	106,59	3,00	5,73
40000 RCo	1440	192	192	6508	756	340	9368	14384	232,44	0,96	142,12	4,00	7,64
5000 RCa	284	50	28	1650	32	29	725	1137	74,495	0,16	31,27	0,58	0,58
10000 RCa	568	99	56	3300	63	58	1450	2273	148,99	0,31	62,53	1,15	1,15
20000 RCa	1136	198	112	6600	126	116	2900	4546	297,98	0,62	125,06	2,30	2,30
30000 RCa	1704	297	168	9900	189	174	4350	6819	446,97	0,93	187,59	3,45	3,45
40000 Ca	2272	396	224	13200	252	232	5800	9092	595,96	1,24	250,12	4,60	4,60

3.7- Instalação do experimento

Foram utilizados tambores plásticos de 60 litros (Figuras 6 e 7), devidamente identificados e preenchidos com 50 litros de solo. O solo foi seco ao ar, dentro da própria estufa plástica, devido à frequência das chuvas na época da instalação do experimento. Posteriormente, o mesmo foi peneirado (malha de 2 mm) para a retirada de torrões, galhos, raízes e outros materiais que poderiam interferir negativamente na homogeneização das doses de lodo com o solo, ou até mesmo no resultado do experimento.

As cinco doses de cada um dos grupos de tratamentos foram misturados ao solo da camada de 0 a 20 cm de profundidade, e para se obter uma melhor homogeneização foi utilizada uma betoneira. As mudas foram plantadas no final do mês de março de 2011 e os vasos foram irrigados quando necessário, com a finalidade de se manter 70% da capacidade de retenção da água dos mesmos, sendo fornecida a mesma quantidade de água para todos os tratamentos.



Figura 6. Vista dos vasos e da betoneira



Figura 7. Muda já plantada no vaso

3.8- Análise química do solo e das folhas

Ao final do experimento, as folhas foram coletadas (Figura 8), 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 foram determinados os macronutrientes e os micronutrientes, segundo metodologia descrita por Malavolta et al. (1997).



Figura 8. Detalhe das plantas após a coleta das folhas.

No mês de setembro de 2011, ao final da condução do experimento, foram coletadas amostras de solo de cada vaso. Estas foram devidamente identificadas, secas em estufa a 60°C, peneiradas (malha 2 mm) para determinação do pH (CaCl_2), matéria orgânica, fósforo, alumínio trocável (Al^{+3}), acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), potássio, cálcio, magnésio, capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por base (V%), boro, cobre, ferro, manganês, zinco e sódio. As análises químicas do solo foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Raij et al. (2001).

3.9- Coleta de dados biométricos

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. As avaliações foram realizadas mensalmente para análise de comportamento das mudas submetidas aos diferentes tratamentos ao longo do tempo.

3.10- Determinação da Área Foliar

As folhas recém colhidas foram encaminhadas ao Departamento de Produção Vegetal onde forem medidas suas áreas foliares com o auxílio do Area Meter Li-cor, modelo LI-3100.

3.11- Avaliação da Produção de massa seca de raiz, caule e folhas

As folhas, depois de passar pelo medidor de área foliar, foram secas em estufa a 60°C, até atingirem suas massas constantes, e foram pesadas posteriormente. O caule e os ramos, assim que retirados dos vasos, foram secos em estufa a 60°C, até atingirem suas massas constantes, e posteriormente foram pesados.

As raízes foram lavadas em água corrente até a retirada de todo o solo aderido às mesmas; posteriormente foram secas em estufa a 60°C, até atingirem suas massas constantes, e posteriormente foram pesadas.

3.12- Determinação de indicador do teor de clorofila

Ao final do experimento, utilizando-se um clorofilômetro Minolta, modelo SPAD-502, com o qual foram realizadas medições de intensidade de cor verde (ICV) que é um indicador do teor de clorofila das folhas. O diagnóstico foi realizado em folhas recém maduras situadas no terço médio das plantas, nos quatro pontos cardeais da planta, em 8 folhas por indivíduo.

3.13- Análises Estatísticas

Para os dados de massa seca de raiz, caule e folhas, teor de clorofila, área foliar, análise química de solo e folhas, foram realizadas análises fatoriais, pois como variáveis, para cada tratamento, tinha-se dois tipos de resíduos e cinco doses crescentes. Além disso, foram realizadas regressões para se verificar o efeito das doses aplicadas. Ao final,

realizou-se um Teste de Médias (Tukey), para comparar todos os tratamentos entre si, inclusive a testemunha absoluta e o tratamento em que foi empregada adubação inorgânica.

Para os dados biométricos de altura e diâmetro, foram realizados modelos mistos com medidas repetidas ao longo do tempo, com a finalidade de se verificar o comportamento desses parâmetros biométricos ao longo do tempo, visto que esses foram os únicos parâmetros avaliados mensalmente.

4- RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1- Parâmetros Biométricos

4.1.1 Crescimento em diâmetro e altura

Os valores referentes ao crescimento em diâmetro e altura podem ser verificados, respectivamente, nas Tabelas 8 e 9. Como foram coletadas informações mensais para os parâmetros altura e diâmetro, a análise dos mesmos consistiu na geração de modelos de regressões mistos com medidas repetidas ao longo do tempo, que podem ser observados nas Figuras 9 e 10, respectivamente, para diâmetro e altura.

Pode-se checar, também nas Tabelas 8 e 9, que só foram obtidas diferenças estatisticamente significativas para a variável dose, concluindo-se que os comportamentos dos dois resíduos foram iguais em relação ao crescimento em altura e diâmetro. Isso justifica o fato do gráfico apresentar apenas uma curva para cada dose nos gráficos de distribuição temporal de diâmetro e altura (Figuras 9 e 10, respectivamente).

Tabela 8. Médias das medições de diâmetro das plantas de eucalipto conduzidas por 5 meses, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamentos	Idade das Mudanças (meses)					
	plântio	1	2	3	4	5
	Diâmetro (mm)					
Testemunha	3,31	4,90	6,26	7,87	9,03	10,19
Adubação Inorgânica	3,53	6,51	8,70	12,86	13,79	15,70
5 Mg ha ⁻¹ RCo	3,31	5,11	8,38	10,59	11,79	12,75
10 Mg ha ⁻¹ RCo	3,42	5,68	8,82	11,22	12,53	14,34
20 Mg ha ⁻¹ RCo	3,12	5,63	9,68	12,17	13,42	15,28
30 Mg ha ⁻¹ RCo	3,05	5,34	8,22	12,31	13,52	16,83
40 Mg ha ⁻¹ RCo	3,43	5,77	9,67	12,86	14,58	16,28
5 Mg ha ⁻¹ RCa	3,47	5,32	7,76	10,24	11,41	13,36
10 Mg ha ⁻¹ RCa	3,31	5,56	8,19	11,42	12,59	13,56
20 Mg ha ⁻¹ RCa	2,98	5,14	8,00	11,81	13,89	16,89
30 Mg ha ⁻¹ RCa	3,19	4,65	7,83	11,33	13,06	16,64
40 Mg ha ⁻¹ RCa	3,39	5,06	8,19	11,57	14,06	16,33

Dose **

Resíduo (ns)

Idade **

(ns)= não significativo; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade

Em relação à variável dose de resíduo obtiveram-se resultados com diferenças estatisticamente significativas para ambos os parâmetros, sendo os tratamentos com maiores quantidades de resíduos, os que apresentaram maiores crescimentos em diâmetro e altura. Resultados semelhantes foram observados por Freier et al (2006) que avaliaram o crescimento inicial de eucalipto submetido à aplicação de diversas doses de biofóssido. Ainda pode-se verificar que, para ambos os parâmetros, todos os tratamentos que continham doses dos resíduos apresentaram valores semelhantes aos encontrados pelo tratamento que recebeu adubação inorgânica e bastante superiores em relação à testemunha absoluta.

Tabela 9. Médias das medições de altura das plantas de eucalipto conduzidos por 5 meses, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamentos	Idade (meses)					
	plantio	1	2	3	4	5
	Altura (cm)					
Testemunha	35,00	44,63	51,75	54,88	52,88	53,43
Adubação Inorgânica	35,31	51,38	64,94	72,25	72,88	75,14
5 Mg ha ⁻¹ RCo	36,25	49,38	59,69	64,45	66,13	65,88
10 Mg ha ⁻¹ RCo	35,13	50,50	63,88	69,25	68,63	67,75
20 Mg ha ⁻¹ RCo	34,93	51,13	65,88	72,50	71,75	72,38
30 Mg ha ⁻¹ RCo	34,63	49,00	63,94	72,13	73,38	79,63
40 Mg ha ⁻¹ RCo	33,88	50,25	66,56	74,38	78,25	81,63
5 Mg ha ⁻¹ RCa	33,81	48,63	56,94	63,13	61,63	62,38
10 Mg ha ⁻¹ RCa	37,00	50,38	61,38	69,19	71,63	70,25
20 Mg ha ⁻¹ RCa	35,13	47,38	58,25	70,25	76,50	81,25
30 Mg ha ⁻¹ RCa	34,94	49,25	60,75	70,88	75,63	80,88
40 Mg ha ⁻¹ RCa	36,44	48,88	60,38	71,38	77,63	83,38

Dose **

Resíduo (ns)

Idade **

(ns)= não significativo; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade

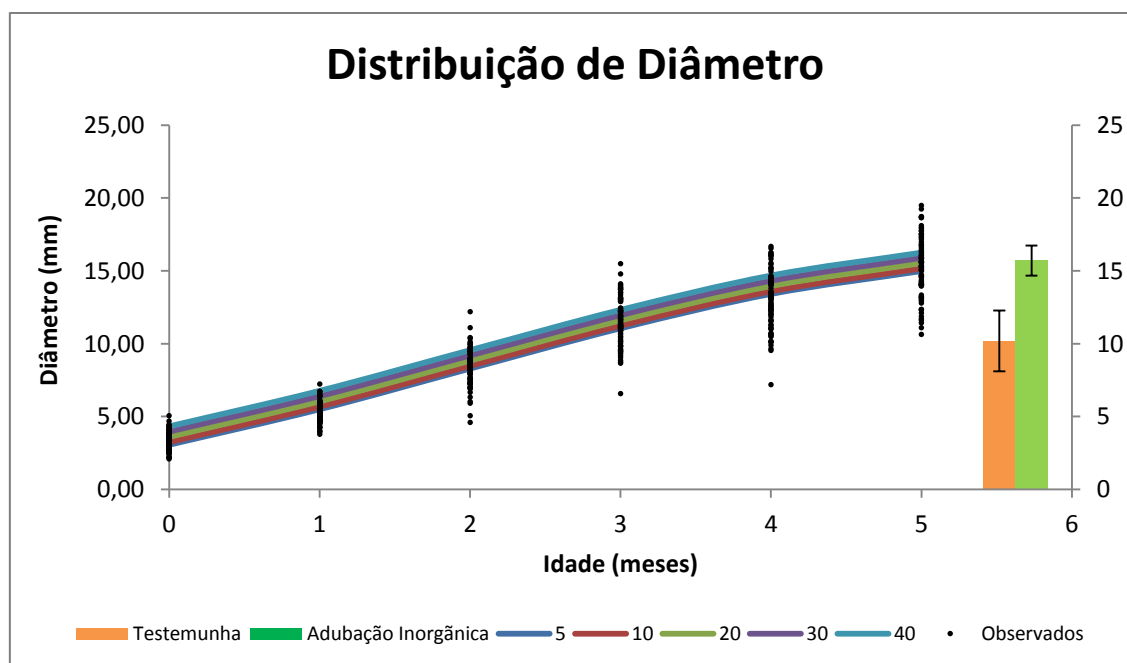


Figura 9. Valores de diâmetro observados das plantas e curvas ajustadas do modelo misto em função das avaliações realizadas para diâmetro das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da última avaliação de diâmetro das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica e da testemunha absoluta.

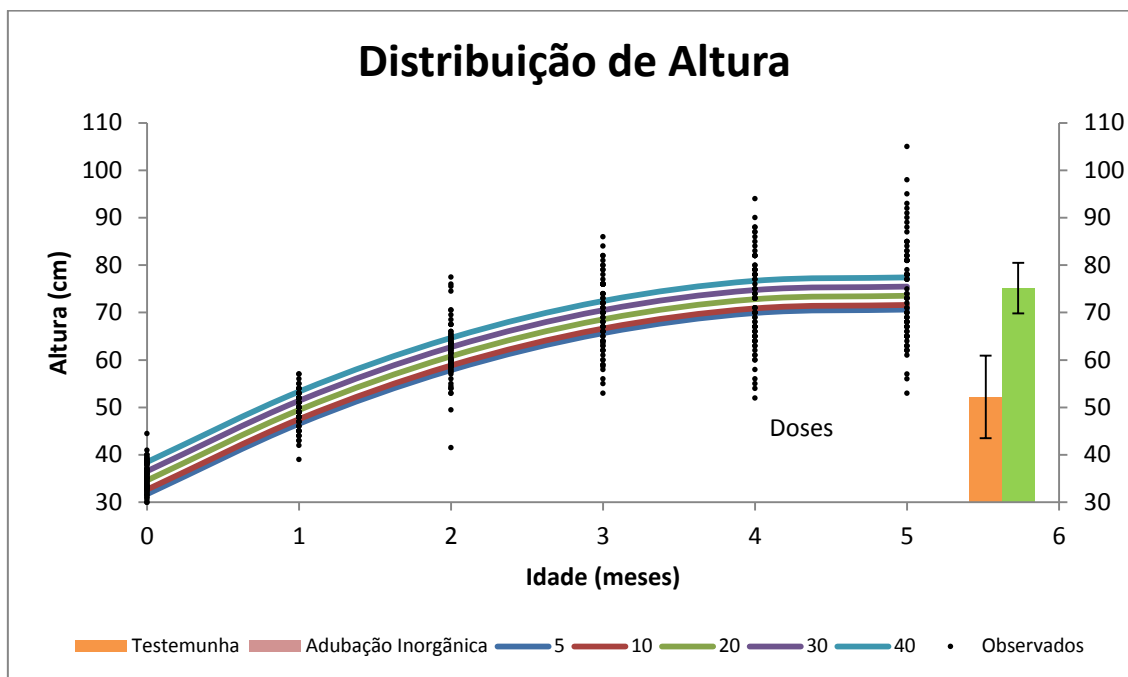


Figura 10. Valores de altura observados das plantas e curvas ajustadas do modelo misto em função das avaliações realizadas para altura das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da última avaliação de altura das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica e da testemunha absoluta.

4.1.2- Produção de área foliar, massa seca de folhas, caule e raiz, e índice de cor verde (ICV)

Na Tabela 10 seguem os valores médios referentes aos parâmetros analisados, área foliar, massa seca de raiz, caule e folha, e teor de clorofila, em função dos tratamentos a que foram submetidos. Na Figura 11 pode-se observar as plantas mais representativas de cada um dos tratamentos, as quais foram submetidas no presente trabalho.



Figura 11. Imagem das plantas representativas de seus respectivos tratamentos: A – testemunha absoluta; B – adubação inorgânica; C – 5 Mg ha⁻¹ de resíduo compostado; D- 10 Mg ha⁻¹ de resíduo compostado; E - 20 Mg ha⁻¹ de resíduo compostado; F- 30 Mg ha⁻¹ de resíduo compostado; G - 40 Mg ha⁻¹ de resíduo compostado; H- 5 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário; I - 10 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário; J - 20 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário; K - 30 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário; L - 40 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário.

A área foliar das plantas sofreu influência do tipo e da dose de resíduo aplicado. Obtiveram-se maiores médias de área foliar conforme se elevaram as doses dos dois tipos de resíduos aplicados. A dose de 40 Mg ha⁻¹ proporcionou maior incremento de área foliar às plantas, sendo a média do resíduo de calcário e compostado 74,47% e 28,90%, respectivamente, superiores à média encontrada nas plantas submetidas à adubação inorgânica. Ainda em relação ao mesmo parâmetro, a utilização do resíduo de calcário resultou em maior área foliar das mudas, e esse aumento é explicado por regressão quadrática, que está ilustrada na Figura 12.

Os parâmetros massa seca de folhas e massa seca de caule também variaram em função do tipo de resíduo e da dose aplicada. Assim como a área foliar, os valores de massa seca de folhas e caule aumentaram conforme se elevaram as doses dos resíduos, e os tratamentos contendo resíduo de calcário proporcionou maior crescimento em relação às mesmas doses do resíduo compostado. Esse crescimento pode ser observado nas regressões quadráticas das Figuras 13 e 14.

Tabela 10. Médias das medições de área foliar, massa seca de folha, caule e raiz, e do teor de clorofila das plantas de eucalipto submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, realizadas ao quinto mês de condução do experimento, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamento	Área Foliar (cm ²)	Massa Seca (g)			ICV
		Folha	Caule	Raiz	
Testemunha	1592 F	28,0 E	26,3 E	53,7 C	24,7 D
Adubação Inorgânica	5765 CDE	72,2 ABCD	61,6 ABC	110,5 AB	27,8 CD
5 Mg ha ⁻¹ RCo	3638 EF	49,2 DE	40,2 DE	69,8 BC	27,3 D
10 Mg ha ⁻¹ RCo	4303 E	57,0 CDE	46,9 CD	81,6 ABC	25,0 D
20 Mg ha ⁻¹ RCo	4958 DE	68,8 BCD	58,2 BCD	105,9 AB	26,0 D
30 Mg ha ⁻¹ RCo	6867 BCD	86,5 ABC	70,6 AB	113,9 A	28,1 CD
40 Mg ha ⁻¹ RCo	7432 BCD	97,2 AB	72,8 AB	101,6 AB	28,9 BCD
5 Mg ha ⁻¹ RCa	3498 EF	53,0 CDE	42,0 DE	66,5 BC	26,1 D
10 Mg ha ⁻¹ RCa	4953 DE	65,5 BCD	55,3 BCD	79,4 ABC	32,5 ABC
20 Mg ha ⁻¹ RCa	8976 AB	101,4 A	77,6 A	115,4 AB	33,1 AB
30 Mg ha ⁻¹ RCa	8371 ABC	103,7 A	78,4 A	122,7 A	34,6 A
40 Mg ha ⁻¹ RCa	10060 A	101,3 A	78,2 A	121,8 AB	36,0 A
Dose	**	**	**	**	**
Resíduo	**	**	**	ns	**
Dose x Resíduo	**	ns	ns	ns	**
CV(%)	27,2	25,5	17,7	28,7	11,0

(ns)= não significativo; *= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV= Coeficiente de Variação

O tipo de resíduo não influenciou no incremento de massa seca de raízes, porém as doses aplicadas geraram diferenças estatisticamente distintas, sendo a dose de 30 Mg ha⁻¹ a que proporcionou maior crescimento das raízes, resultado semelhante ao observado no tratamento com adubação mineral. Essa dose ainda resultou em um incremento 128,54% e 112,07% maior do que a testemunha absoluta. A Figura 15 mostra as curvas geradas pelas regressões quadráticas, referentes ao crescimento dos dois resíduos. Resultados

diferentes foram obtidos por Possato (2010), cuja regressão foi linear e os valores de massa seca de raiz decresceram conforme se elevaram as doses do resíduo. Provavelmente essa discrepância de resultados pode ser devido à diferença nas características dos resíduos ou dos solos utilizados nos dois trabalhos.

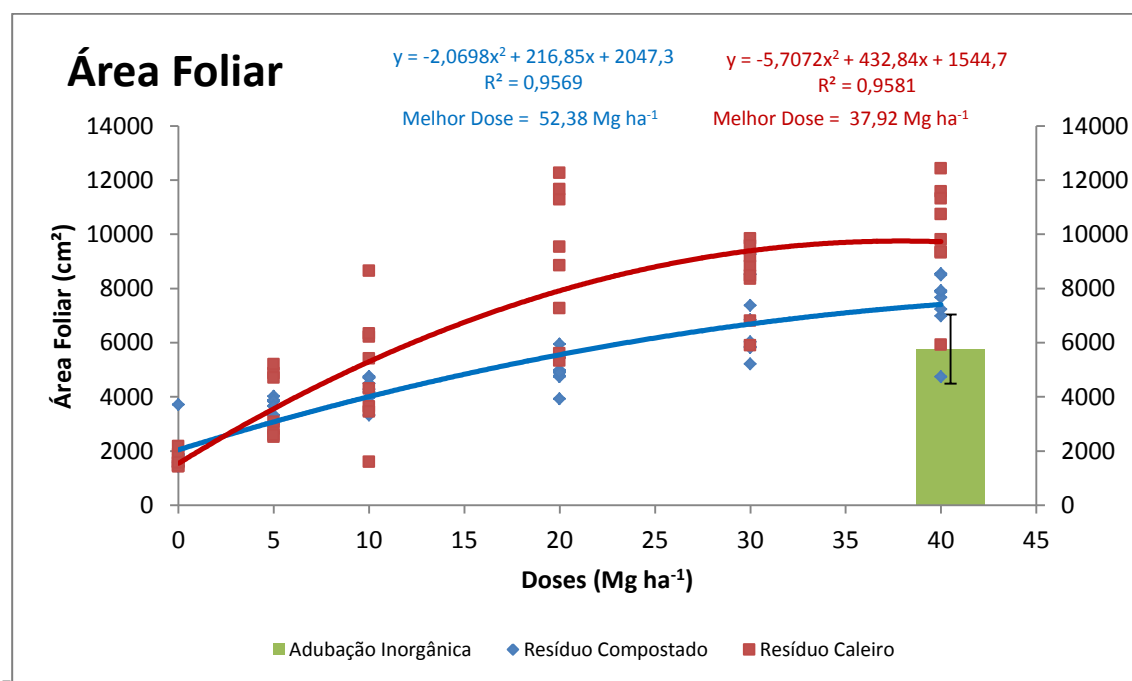


Figura 12. Valores de área foliar observados e ajuste das regressões para as médias dos valores de área foliar das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e valor médio de área foliar das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

O resíduo de caleiro proporcionou valores de ICV do que os encontrados nos tratamentos referentes à adição das mesmas doses de resíduo compostado, sendo também superiores em relação às plantas que receberam adubação mineral, para as doses acima de 20 Mg ha⁻¹. Esse efeito se deve ao fato do resíduo de caleiro possuir maior quantidade de nitrogênio que o composto e suas doses relativas terem sido maiores que a dose de nitrogênio adicionada pela adubação inorgânica, já que o ICV está diretamente relacionado ao teor desse nutriente disponibilizado e aproveitado pela planta, visto que a maior parte da molécula de clorofila é constituída de nitrogênio (TAIZ & ZEIGER, 2009).

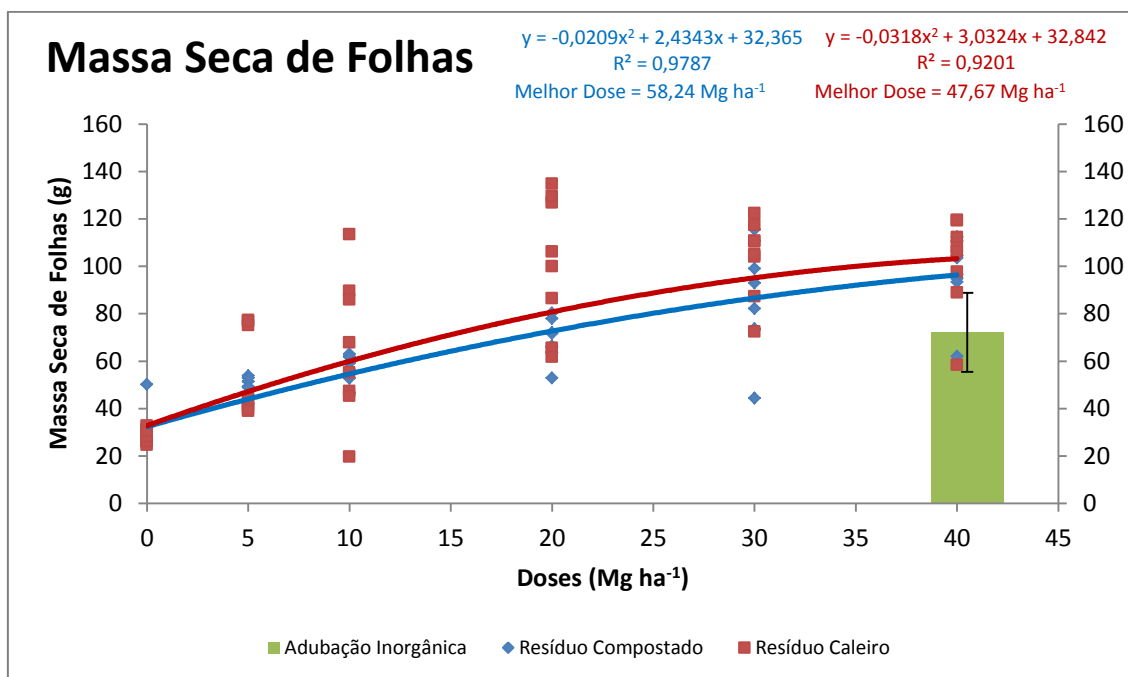


Figura 13. Valores de massa seca de folhas observados e ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de folhas das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio de massa seca de folhas das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

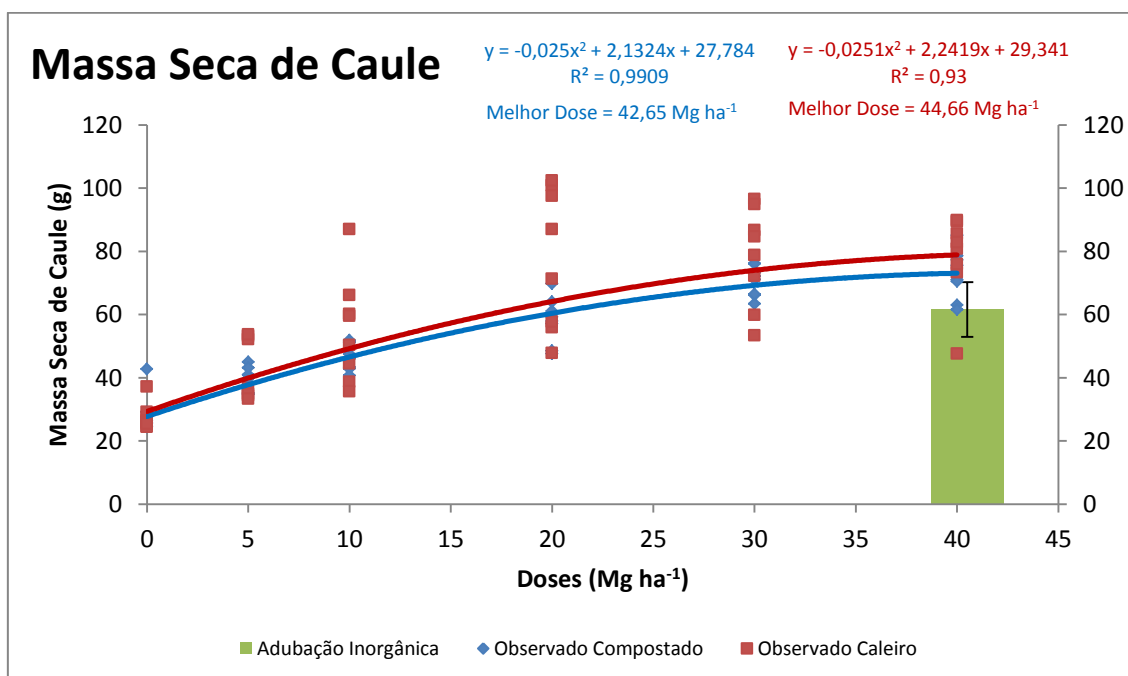


Figura 14. Valores de massa seca de caule observados e ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de caule das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio de massa seca de caule das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

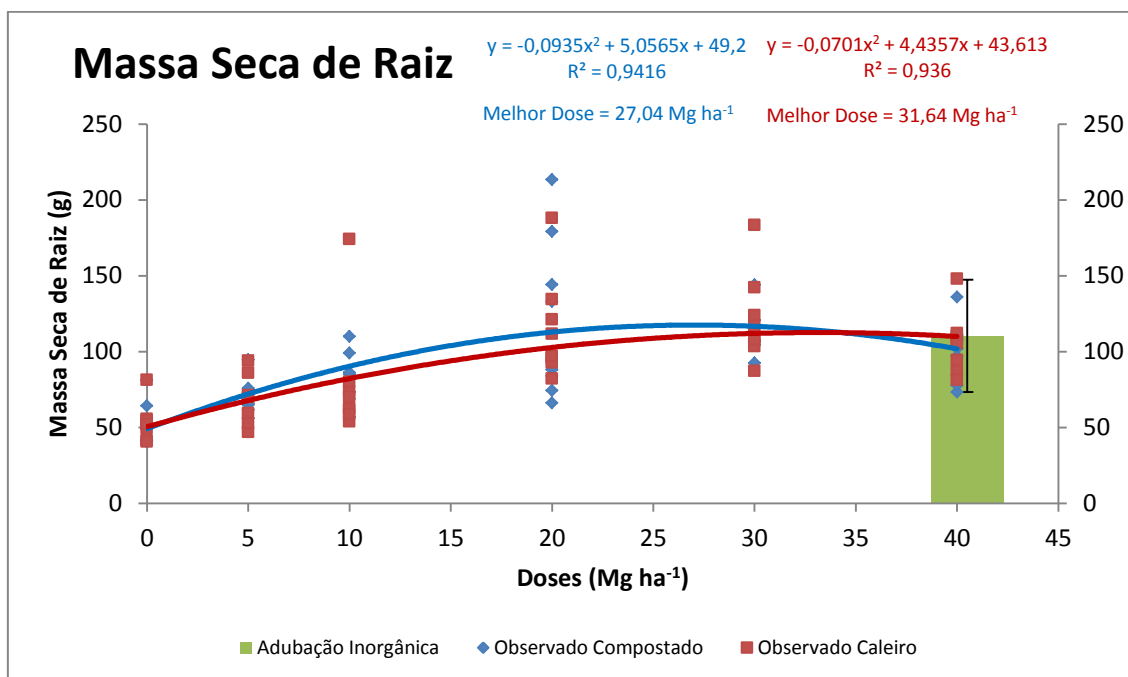


Figura 15. Valores de massa seca de raiz observados e ajuste das regressões para as médias dos valores de massa seca de raiz das plantas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio de massa seca de raiz das plantas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

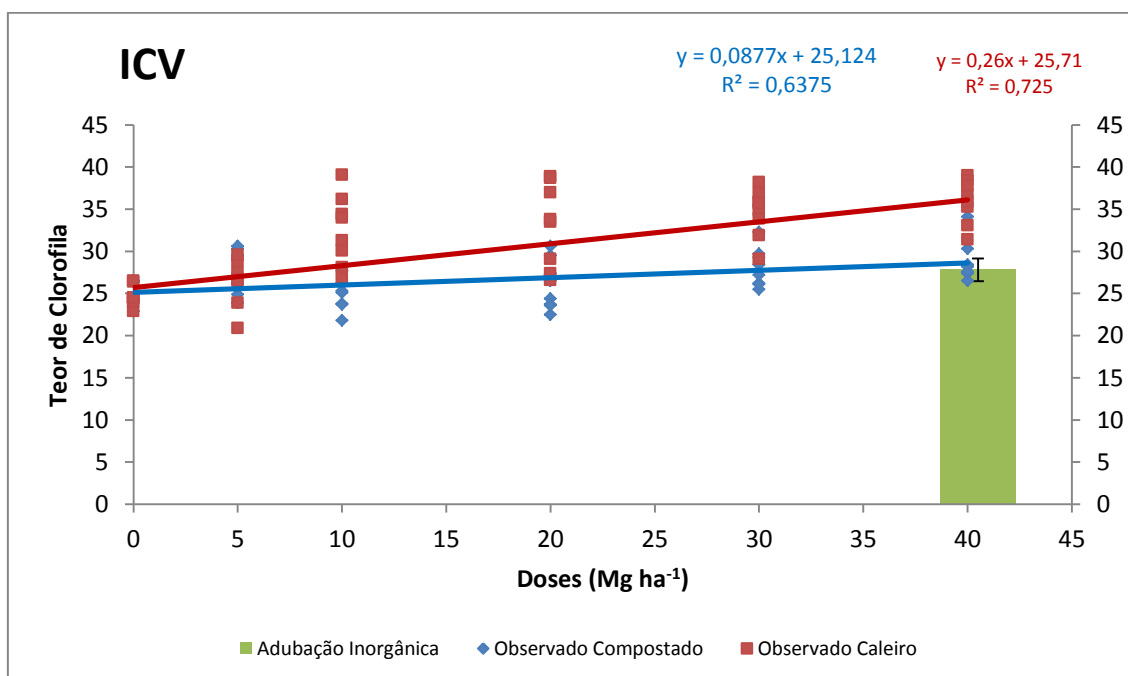


Figura 16. Teores de clorofila observados nas folhas de eucalipto e ajuste das regressões para as médias dos teores de clorofila nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de clorofila nas folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

4.2- Efeito nos atributos químicos e físico químicos do solo

Os resultados da avaliação dos atributos físico químicos do solo se encontram nas Tabelas 11 e 12. A aplicação dos resíduos no solo fizeram com que o pH aumentasse em relação à testemunha, sendo influenciado pelo tipo de resíduo e pela dose aplicada. O resíduo de calcário foi o que mais influenciou nesse parâmetro sendo a dose de 40 Mg ha⁻¹ a que apresentou maior média, sendo diferente estatisticamente em relação à testemunha e à adubação inorgânica. Apesar das plantações de eucalipto, no geral, serem bastante tolerantes a solos ácidos (NEVES et. al., 1992), o pH é um parâmetro de extrema importância pois influencia na disponibilidade de diversos nutrientes, como por exemplo o fósforo, que possui uma faixa ótima (5,5 a 7,0) de disponibilidade em função do pH (Brady & Weil, 1999). Além disso, o pH pode reduzir a disponibilidade de alguns metais, que em determinados níveis, podem ser tóxicos às plantas, assim como descreveu Rajj (1991). Com isso, a importância do pH no estabelecimento de doses dos resíduos testados se faz ainda mais importante visto que a aplicação de quantidades elevadas podem acarretar na elevação exagerada do pH, fazendo com que o mesmo exceda a faixa ideal para a agricultura (5,5 a 6,5). As regressões que mostram o efeito das doses dos resíduos sobre o pH estão evidenciados na Figura 17, onde pode-se perceber que o resíduo de calcário foi mais efetivo do que o calcário para elevar o pH do solo. Tais valores corroboram os resultados obtidos por Possato (2010), que verificou o pH do solo submetido a diferentes doses de resíduo de curtume, porém avaliando com doses baixas (3,0 a 12,0 Mg ha⁻¹), e também com as conclusões de Ferreira et. al. (2003), que também utilizaram resíduos de curtume nas doses de 21,3 a 42,5 Mg ha⁻¹.

Para efeito de avaliação da qualidade do solo, em relação ao teor de sódio encontrado no mesmo, foi calculado o PST do solo, tais valores seguem na Tabela 12. Schneider & Spera (2006) afirmam que para classificar um solo como sódico ou solódico, esses devem apresentar, respectivamente, valores maiores ou iguais a 15% e valores entre 6 % e 15%. Com isso, apesar das altas doses de resíduo terem elevado os teores de sódio do solo, nenhuma delas se enquadra na classificação descrita pelos autores, confirmando que os resíduos não propiciaram condições prejudiciais ao solo.

Tabela 11. Resultados da análise química de solo ao final de 5 meses de condução do experimento com plantio de eucalipto, submetidos à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamento	pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
	CaCl ²	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmolc/dm ³ -----								mg/dm ³
Testemunha	4,0 E	24,07 D	2 D	12 D	76 F	0,5 A	4 C	3 E	7 C	83 AB	9 E	18 A
Adubação Inorgânica	4,9 BCDE	25,75 ABCD	4 ABCD	4 ABC	52 CDEF	0,5 A	41 ABC	7 CD	49 ABC	100 AB	38 BCDE	25 A
5 Mg ha ⁻¹ RCo	4,5 CDE	25,84 ABCD	1 D	5 C	55 DEF	0,5 A	15 C	5 CDE	21 BC	76 B	27 DE	23 A
10 Mg ha ⁻¹ RCo	4,8 CDE	27,07 ABCD	2 D	2 ABC	46 BCDE	0,5 A	19 BC	7 CDE	26 BC	72 B	37 CDE	20 A
20 Mg ha ⁻¹ RCo	5,5 ABCDE	28,05 ABC	2 CD	1 A	36 ABCDE	0,5 A	34 BC	10 BC	44 ABC	78 AB	54 ABCD	24 A
30 Mg ha ⁻¹ RCo	5,8 ABC	27,81 ABCD	3 BCD	0 A	25 ABC	0,4 A	72 ABC	15 A	88 ABC	112 AB	77 A	31 A
40 Mg ha ⁻¹ RCo	5,8 ABC	29,44 A	2 BCD	0 A	21 AB	0,6 A	59 ABC	13 AB	73 ABC	94 AB	77 A	33 A
5 Mg ha ⁻¹ RCa	4,3 DE	27,18 ABCD	2 CD	5 BC	63 EF	0,5 A	18 BC	2 E	21 BC	84 AB	26 DE	34 A
10 Mg ha ⁻¹ RCa	5,3 ABCDE	24,31 CD	3 ABCD	2 ABC	38 ABCDE	0,5 A	42 ABC	2 E	45 ABC	83 AB	51 ABCD	26 A
20 Mg ha ⁻¹ RCa	5,7 ABCD	26,29 ABCD	4 ABC	1 AB	29 ABCD	0,6 A	74 ABC	4 DE	78 ABC	107 AB	66 ABC	41 A
30 Mg ha ⁻¹ RCa	6,2 AB	25,32 BCD	5 AB	0 A	22 AB	0,5 A	101 AB	3 E	104 AB	126 AB	76 AB	33 A
40 Mg ha ⁻¹ RCa	6,5 A	28,34 AB	6 A	0 A	16 A	0,6 A	121 A	3 DE	125 A	142 A	85 A	48 A
Dose	**	**	**	**	**	(ns)	**	**	**	**	**	(ns)
Resíduo	*	*	**	(ns)	(ns)	(ns)	**	**	*	**	(ns)	(ns)
Dose x Resíduo	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	**	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
CV (%)	10,13	6,69	37,63	17,57	30,55	23,54	30,01	32,38	23,50	28,45	26,02	19,58

(ns)= não significativo; *= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV= Coeficiente de Variação

Tabela 12. Resultados da análise química de solo ao final de 5 meses de condução do experimento com plantio de eucalipto, submetidos à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de caleiro, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

(ns)= não significativo; *= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **= significativo ao

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na	PST
	----- mg/dm ³ -----					mmolc/dm ³	%
Testemunha	0,63 A	1,02 A	51,88 A	0,57 A	0,21 A	0,72 D	0,87 C
Adubação Inorgânica	0,44 AB	0,87 AB	43,92 AB	0,37 A	0,20 A	1,19 CD	1,19 BC
5 Mg ha-1 RCo	0,55 AB	0,91 AB	52,60 A	0,53 A	0,48 A	1,15 CD	1,51 B
10 Mg ha-1 RCo	0,48 AB	0,86 AB	46,20 AB	0,42 A	0,36 A	1,24 CD	1,72 AB
20 Mg ha-1 RCo	0,46 AB	0,79 AB	38,48 AB	0,47 A	0,30 A	1,63 BCD	2,09 AB
30 Mg ha-1 RCo	0,46 AB	0,69 B	31,64 AB	0,31 A	0,22 A	2,00 ABCD	1,79 AB
40 Mg ha-1 RCo	0,38 B	0,68 B	28,76 B	0,42 A	0,26 A	3,54 AB	3,77 A
5 Mg ha-1 RCa	0,47 AB	0,91 AB	48,28 AB	0,32 A	0,20 A	1,15 CD	1,37 BC
10 Mg ha-1 RCa	0,35 B	0,85 AB	45,32 AB	0,45 A	0,21 A	1,25 CD	1,51 B
20 Mg ha-1 RCa	0,43 AB	0,80 AB	35,44 AB	0,47 A	0,22 A	2,10 ABCD	1,96 AB
30 Mg ha-1 RCa	0,34 B	0,75 B	30,16 B	0,41 A	0,58 A	3,06 ABC	2,43 A
40 Mg ha-1 RCa	0,36 B	0,73 B	28,56 B	0,40 A	0,24 A	4,07 A	2,87 A
Dose	(ns)	**	**	(ns)	(ns)	**	**
Resíduo	*	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
Dose x Resíduo	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
CV (%)	23,91	13	23,32	33,53	39,05	15,43	12,93

nível de 1% de probabilidade; CV= Coeficiente de Variação; PST= porcentagem de sódio trocável

Outro parâmetro influenciado pela aplicação de resíduos de curtume do solo foi o teor de matéria orgânica. Nesse caso, o tipo de resíduo e as diferentes doses aplicadas resultaram em valores com diferenças estatisticamente significativas, apenas em relação à testemunha. A maior concentração de matéria orgânica no resíduo compostado fez com que os tratamentos que continham esse resíduo gerassem teores maiores do mesmo no solo, diferentemente da maioria dos outros parâmetros avaliados, em que o resíduo de caleiro resultou em maiores valores. Regressões lineares positivas (Figura 18) explicam o efeito das doses de ambos os resíduos sobre esse parâmetro, ou seja, conforme se elevou a dose dos resíduos, elevou-se a quantidade de matéria orgânica no solo. Esse comportamento também foi descrito por Teixeira et al. (2006), que aplicaram resíduo de curtume suplementado com fósforo e potássio em feijão caupi, e também observou a elevação da concentração de matéria orgânica no solo conforme se elevaram as doses do resíduo.

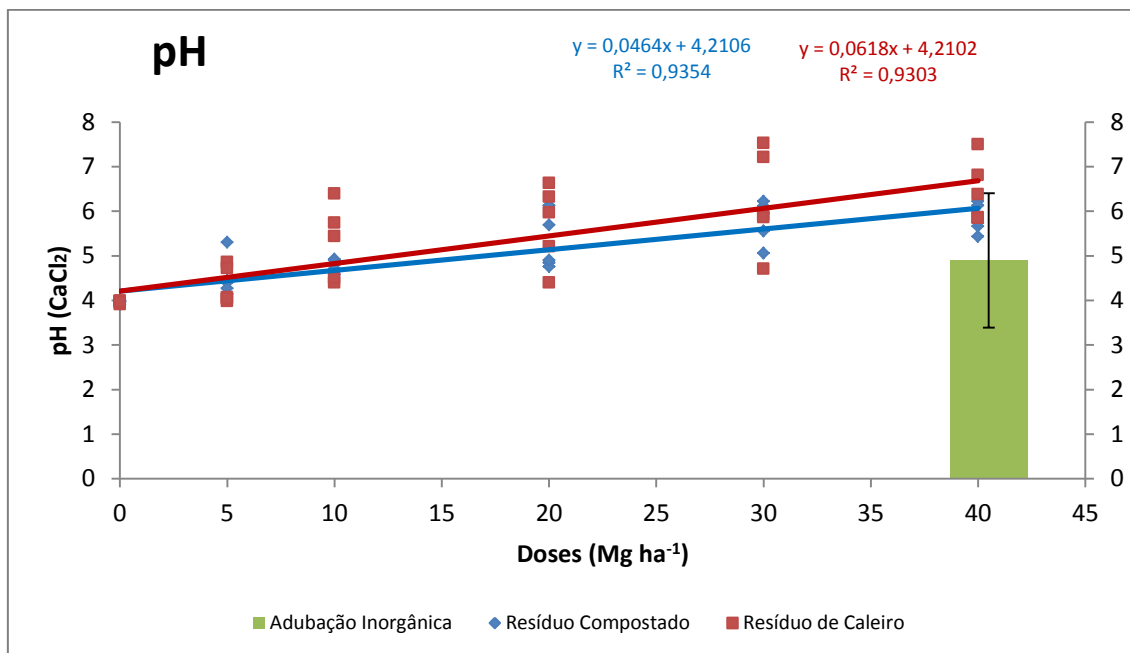


Figura 17. Valores de pH observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos valores de pH nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio de pH em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

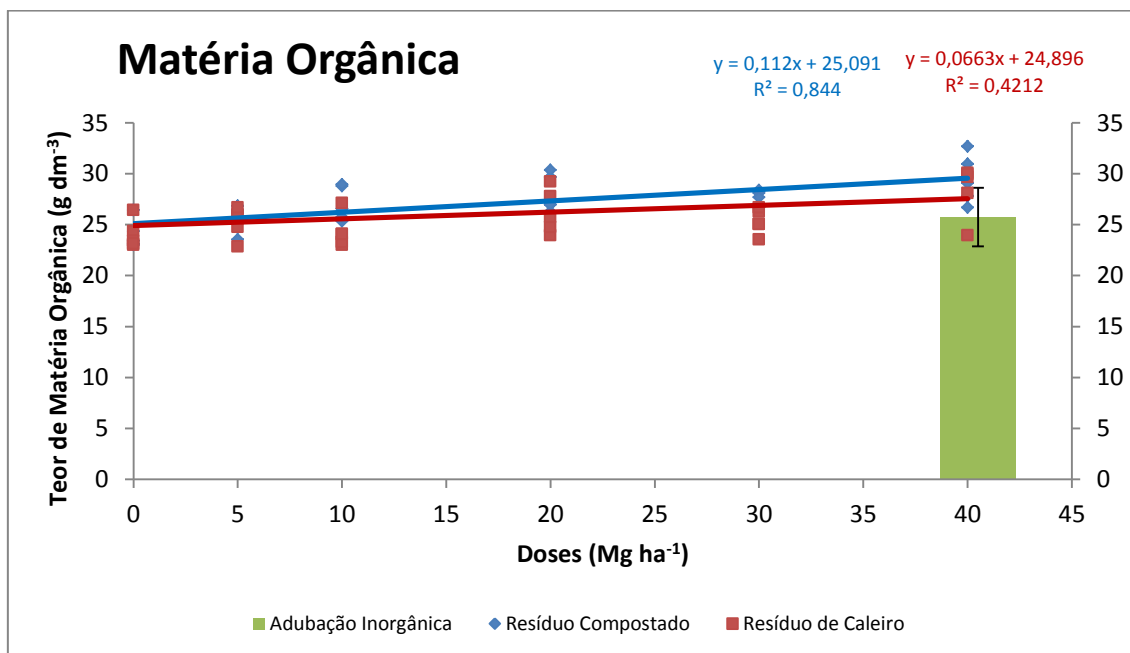


Figura 18. Teores de matéria orgânica observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de matéria orgânica nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de matéria orgânica em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

O tipo de resíduo e as doses aplicadas geraram diferenças estatisticamente significativas entre os níveis de fósforo encontrados no solo. O resíduo de calcário possui maior quantidade desse elemento em sua constituição, fazendo com que os teores de fósforo encontrados nas amostras de solo que receberam as doses desse material fossem maiores também. De acordo com a recomendação de Malavolta (2006), nenhuma das doses de nenhum dos resíduos foram suficientes para fornecer a quantidade ideal de fósforo ao solo, para o eucalipto, sendo classificadas entre muito baixo (0 a 2 mg dm⁻³) e baixo (3 a 5 mg dm⁻³), porém deve-se ressaltar que essas análises foram realizadas após 5 meses, portanto muitos nutrientes foram absorvidos pelas plantas. Os efeitos das doses dos resíduos aplicados podem ser mostrados por duas regressões lineares na figura 19.

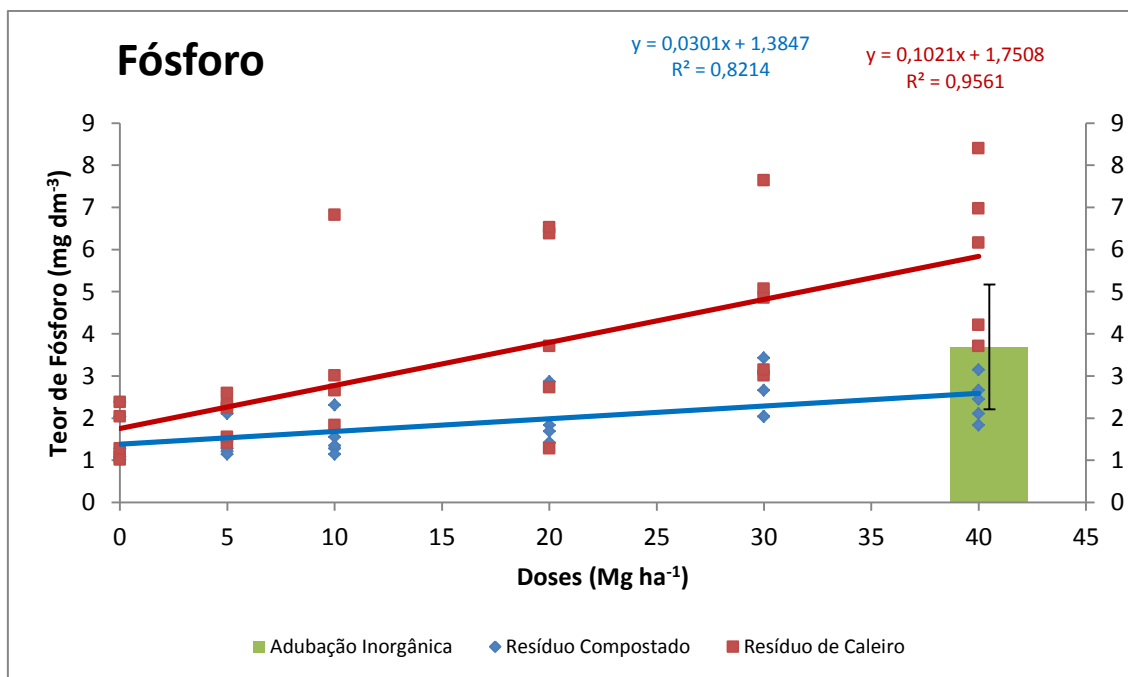


Figura 19. Teores de fósforo observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de fósforo nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de fósforo em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Em relação à quantidade de alumínio no solo e à acidez potencial do mesmo, pode-se afirmar que as diferentes doses de ambos os resíduos foram as variáveis que influenciaram nos resultados, visto que os dois resíduos proporcionaram resultados muito

semelhantes. Esses efeitos podem ser observados nas regressões quadráticas geradas pelos gráficos das Figuras 20 e 21. A redução da acidez potencial foi resultado da elevação do pH e da diminuição dos teores de alumínio na camada de solo analisado, e isso também foi descrito por Teixeira et. al. (2006) em experimento com feijão caupi submetido à aplicação de diferentes doses de resíduo de curtume suplementado com fósforo e potássio.

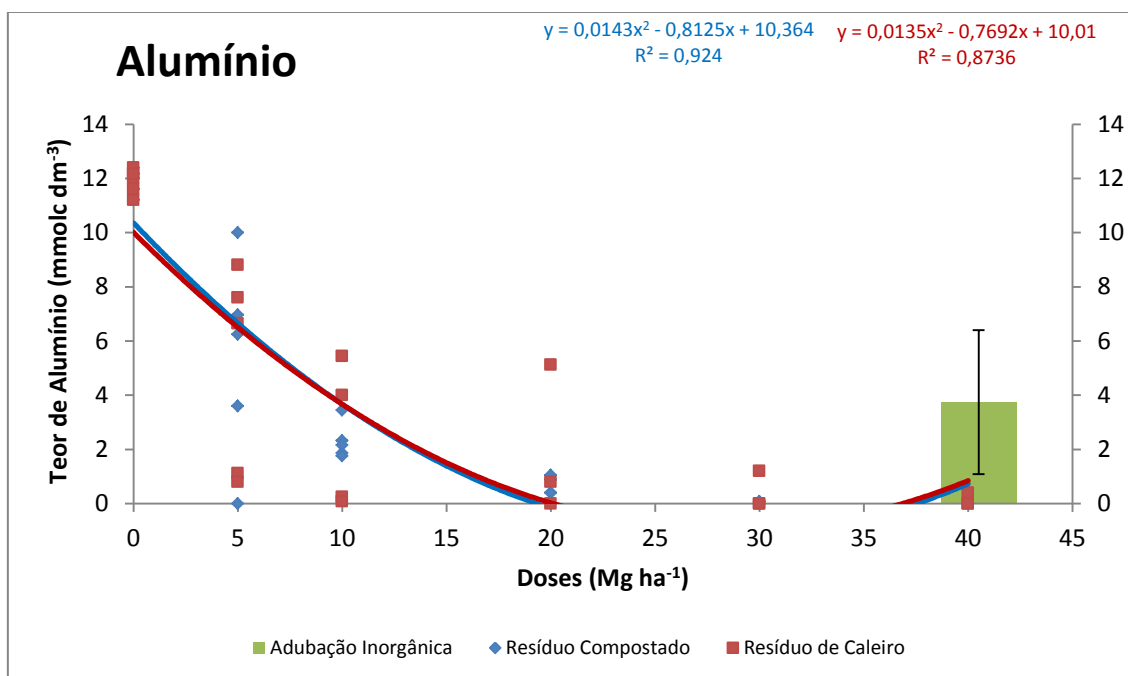


Figura 20. Teores de alumínio observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de alumínio nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de alumínio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Nenhum dos dois resíduos proporcionou diferenças estatisticamente significativas nos teores de potássio e enxofre do solo, devido ao baixo teor desses elementos encontrado nos resíduos, o que resultou em níveis muito abaixo dos exigidos pela cultura, que, segundo Gonçalves & Poggiani (1996), é de 3 a 10 mmol/dm³ de potássio. Porém cálcio e magnésio foram influenciadas tanto pela dose quanto pelo tipo de resíduo aplicado. Ambos os resíduos elevaram os teores de cálcio no solo acima dos níveis mínimos prescritos por Gonçalves & Poggiani (1996) e por Rajj et al. (1997), sendo as amostras de solo que receberam o material proveniente de caleiro as que apresentaram maiores quantidades desse

nutriente, comportamento que também foi relatado por diversos outros autores como Possato (2010), Teixeira et al. (2006) e Araujo et al. (2011).

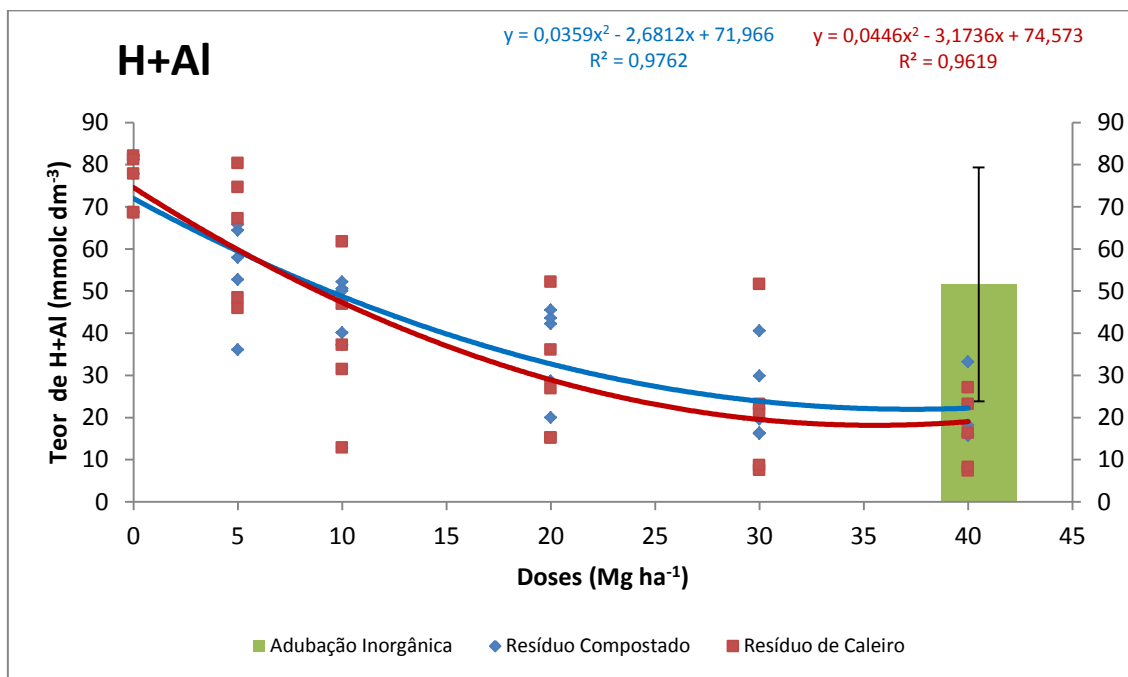


Figura 21. Valores da acidez potencial observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos valores da acidez potencial nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da acidez potencial em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Ao contrário do cálcio, o resíduo que mais contribuiu para o fornecimento de magnésio ao solo foi o compostado, resultado justificado pelo fato desse resíduo ter mais do que três vezes magnésio em sua composição do que o lodo de calcário. O magnésio presente no resíduo compostado, provavelmente, é proveniente dos outros componentes do composto que não o resíduo de calcário, visto que o mesmo não está presente, em grandes quantidades, no resíduo de calcário. Os teores de magnésio das amostras que receberam qualquer dose de lodo compostado, inclusive a menor dose (5 Mg ha⁻¹), estão dentro dos limites mínimos propostos pelos plantios de eucalipto segundo Raji et al. (1997) e Gonçalves & Poggiani (1996), que são de 5 a 8 mmol/dm³ e 5 a 10 mmol/dm³, respectivamente. Os ajustes das regressões referentes à variação da quantidade de cálcio e

magnésio do solo, em função das doses de resíduos aplicados, podem ser observados nos gráficos das Figuras 22 e 23.

Os resultados obtidos para soma de bases (SB) e para capacidade de troca catiônica (CTC) apresentaram comportamentos ajustados por regressões lineares para o primeiro parâmetro e quadráticas para o segundo. Em ambos os casos, o resíduo de calcário propiciou maiores médias, tanto para SB quanto para CTC e a maior dose de cada um dos resíduos (40 Mg ha⁻¹). A saturação por bases (V%) também sofreu influência da elevação das doses dos resíduos, aumentando conforme se elevaram as doses. Diferentemente do ocorrido com a SB e da CTC (Figuras 24 e 25, respectivamente), o tipo de resíduo aplicado não resultou em diferenças estatisticamente significativas. Tal efeito pode ser verificado no gráfico da Figura 26, onde as curvas de ambos os resíduos seguem as mesmas tendências e estão muito próximas umas das outras. A elevação dos valores das médias de SB e V% se devem ao aumento dos teores das bases proporcionados por ambos os resíduos, e os maiores valores de CTC se devem ao fato do alumínio ter se tornado menos disponível com a aplicação das doses dos resíduos. Efeito semelhante foi relatado por Possato (2010), porém nesse caso a elevação da V% teve comportamento ajustado por regressão linear.

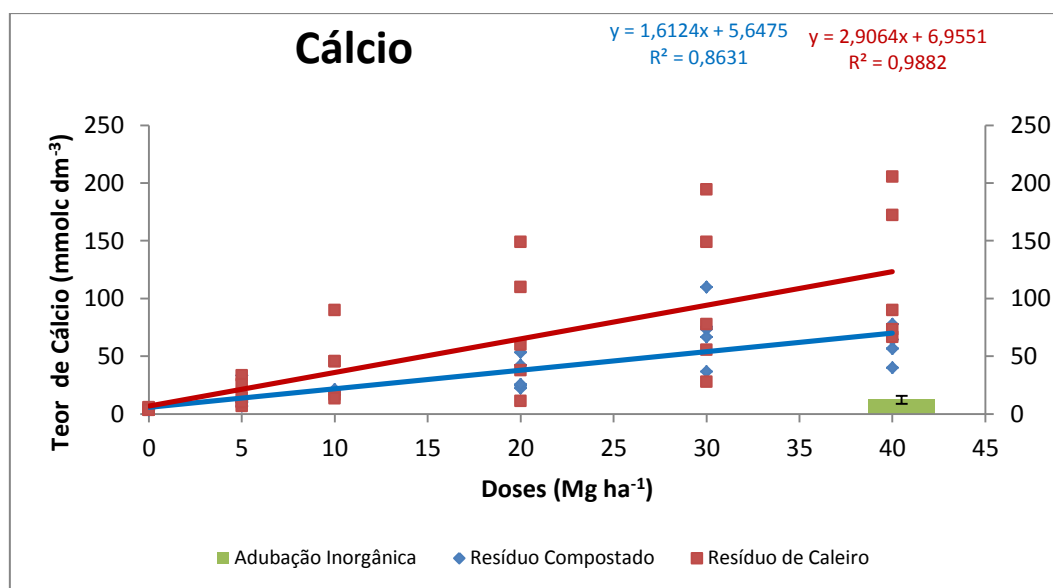


Figura 22. Teores de cálcio observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de cálcio nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de cálcio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

No caso dos micronutrientes, não foram observadas mudanças estatisticamente significativas nos teores de manganês e zinco, provavelmente devido aos altos valores dos coeficientes de variação. Porém o teor de boro variou apenas em relação ao tipo de resíduo aplicado, não sendo muito afetado pelo efeito das crescentes doses aplicadas, diferentemente dos teores de cobre e ferro, que decresceram conforme se elevaram as doses aplicadas, sendo o comportamento dos dois resíduos estatisticamente iguais. A diminuição dos teores de cobre e ferro são efeitos da elevação do pH do solo; esse comportamento de proporcionalidade inversa é descrito por Malavolta (2006), que explica esse fato devida a formação de hidróxidos e de carbonatos menos disponíveis, fazendo com que caia a concentração desses elementos no solo. As curvas que ajustam o modelo de regressão podem ser visualizadas nas Figuras 27, 28 e 29, sendo modelos de regressões quadráticas para cobre, e linear para ferro.

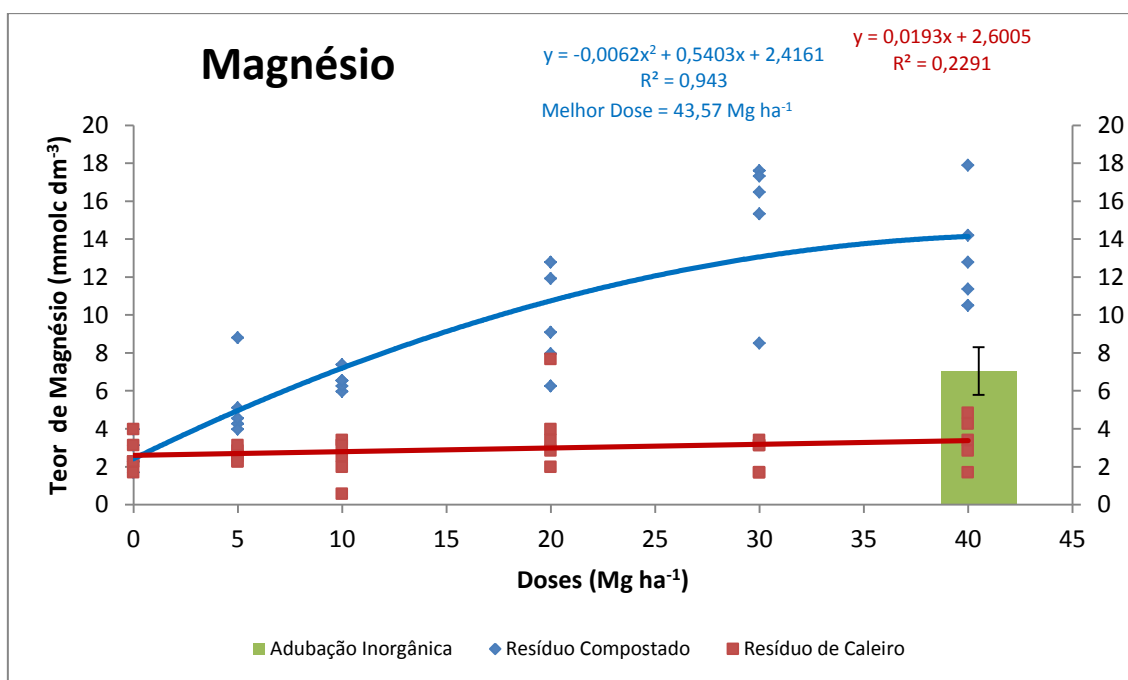


Figura 23. Teores de magnésio observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de magnésio nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de boro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

O tipo do resíduo aplicado não gerou diferença significativa quanto ao teor de sódio encontrado no solo, devido ao fato dos dois resíduos possuírem quantidades muito parecidas desse elemento. Com isso, a diferença observada foi em relação às diferentes doses aplicadas, obtendo-se uma relação diretamente proporcional entre a dose aplicada e a quantidade de sódio encontrada no solo (Figura 30). Essa informação é importante, pois a quantidade de sódio no solo pode ser um limitante do uso desses resíduos, já que o sódio, em grandes concentrações, pode agir como um dispersor da argila do solo, resultando em danos às propriedades físicas do solo, como diminuição dos microporos e da CTC (FRENKEL et al., 1978).

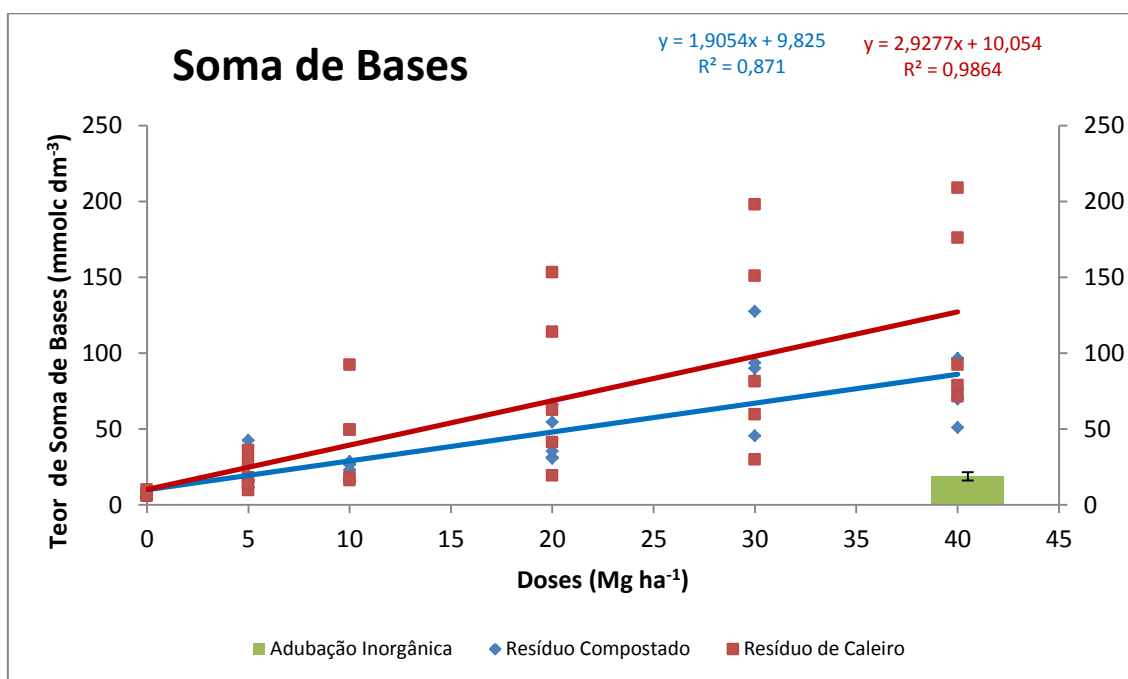


Figura 24. Valores da SB observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos valores da SB nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e valor médio da SB em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

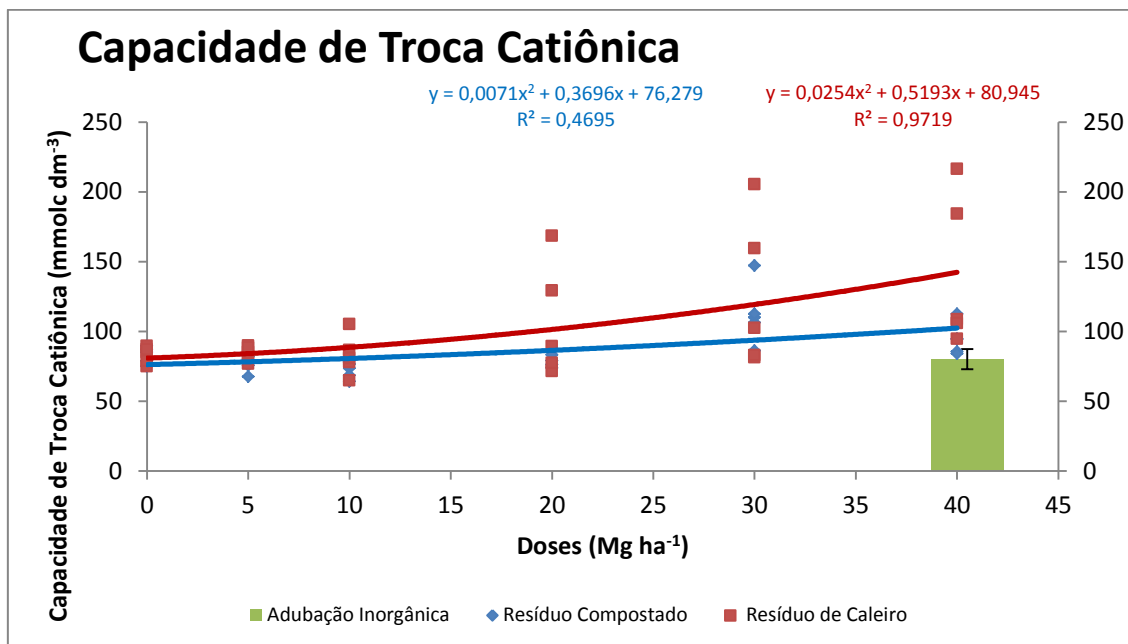


Figura 25. Valores da CTC observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos valores da CTC nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da CTC em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

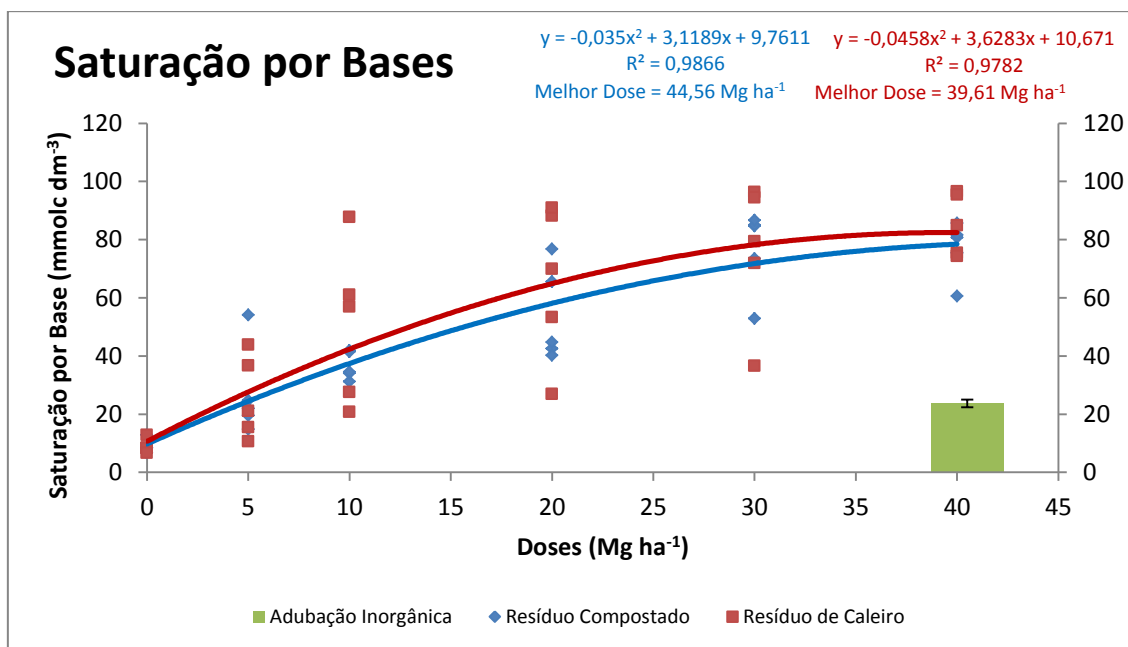


Figura 26. Valores da V% observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos valores da V% nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e valor médio da V% em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

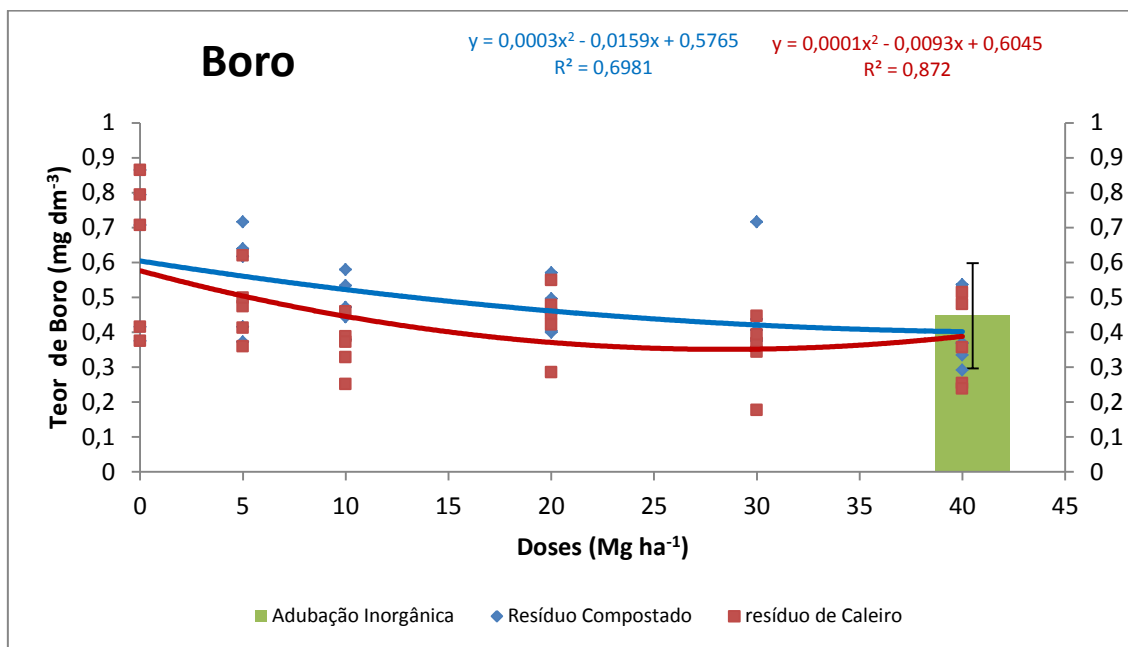


Figura 27. Teores de boro observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de boro nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de boro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

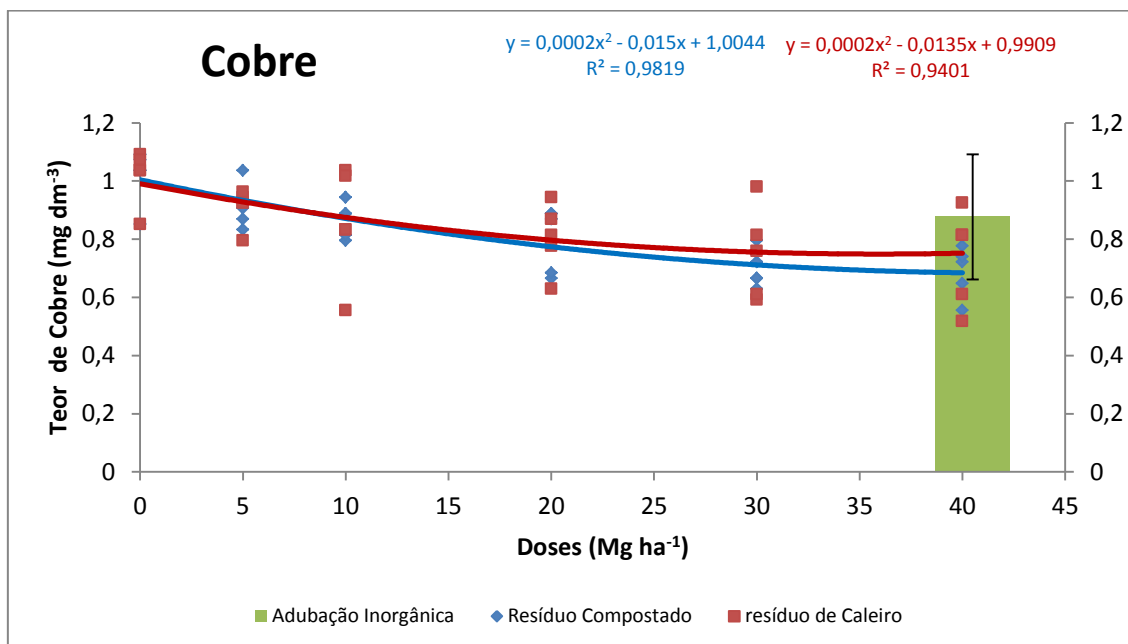


Figura 28. Teores de cobre observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de cobre nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de cobre em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

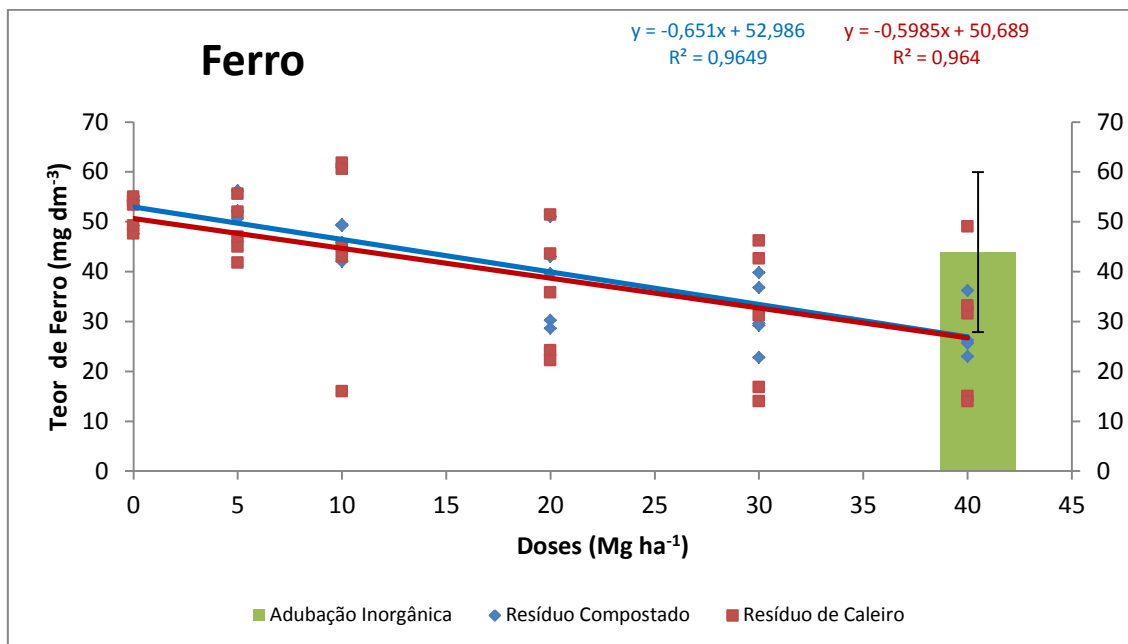


Figura 29. Teores de ferro observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de ferro nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de ferro em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

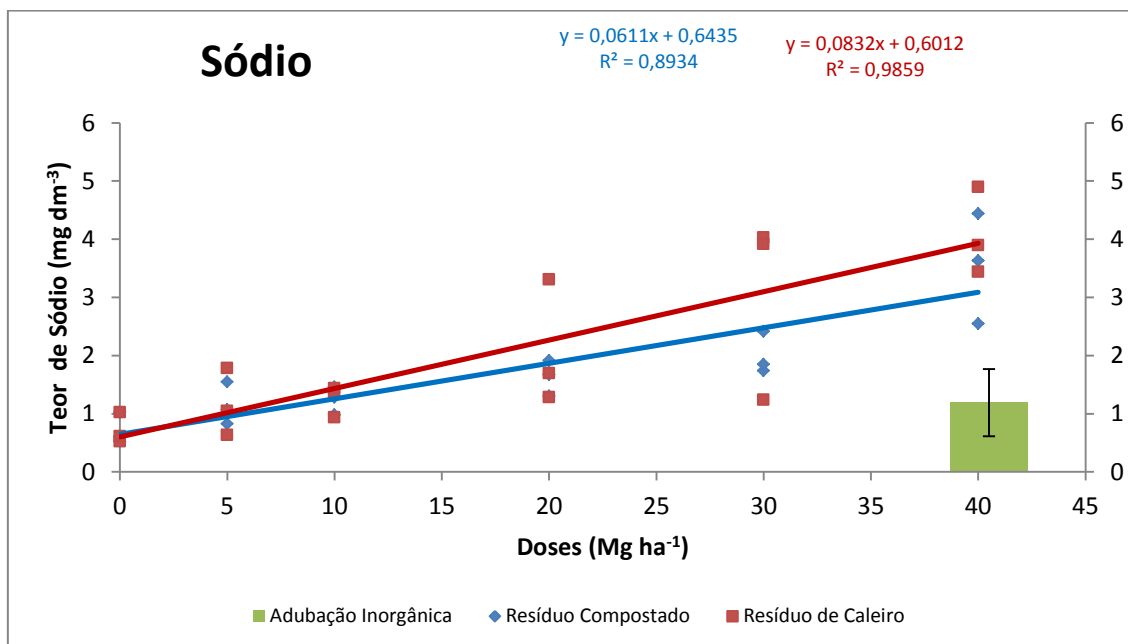


Figura 30. Teores de sódio observados nos solos e ajuste das regressões para as médias dos teores de sódio nos solos com eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de sódio em solos com eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

4.3 Acúmulo de macro e micro nutrientes nas folhas

A avaliação nutricional das plantas do experimento foi feita com base na realização de análises das folhas, as médias dos resultados podem ser observadas nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13. Teor de macronutrientes nas folhas de eucalipto decorridos 5 meses desde o plantio das mudas, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curture compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Testemunha	8 E	0,5 A	4 ABC	7 C	2,6 BCD	1,5 A
Adução Inorgânica	9 CDE	0,6 A	4 BC	10 BC	3,5 A	1,6 A
5 Mg ha ⁻¹ RCo	10 BCDE	0,5 A	3 C	8 C	2,9 ABC	1,6 A
10 Mg ha ⁻¹ RCo	9 DE	0,5 A	3 C	9 C	3,0 ABC	1,6 A
20 Mg ha ⁻¹ RCo	9 E	0,5 A	4 BC	9 C	3,3 AB	1,5 A
30 Mg ha ⁻¹ RCo	10 BCDE	0,5 A	4 BC	10 C	3,2 AB	1,6 A
40 Mg ha ⁻¹ RCo	11 ABCDE	0,6 A	4 ABC	10 BC	3,4 A	1,7 A
5 Mg ha ⁻¹ RCa	10 BCDE	0,5 A	4 ABC	13 AB	2,4 CD	1,6 A
10 Mg ha ⁻¹ RCa	15 AB	0,7 A	5 AB	14 A	2,5 BCD	1,8 A
20 Mg ha ⁻¹ RCa	15 ABCD	0,6 A	4 ABC	16 A	2,0 D	1,7 A
30 Mg ha ⁻¹ RCa	15 ABC	0,7 A	5 AB	15 A	2,3 CD	1,8 A
40 Mg ha ⁻¹ RCa	17 A	0,7 A	6 A	15 A	2,1 D	1,8 A
Dose	*	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	*
Resíduo	**	**	**	**	**	**
Dose x Resíduo	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)
CV (%)	23,64	21,48	19,8	14,13	13,84	8,05

(ns)= não significativo; *= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV= Coeficiente de Variação

Tabela 14. Teor de micronutrientes e sódio nas folhas de eucalipto decorridos 5 meses desde o plantio das mudas, submetidas à aplicação de doses crescentes de resíduo de curtume compostado e resíduo de calcário, no município de Botucatu/SP no ano de 2011.

Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
	----- g kg ⁻¹ -----					
Testemunha	44,0 A	6,4 A	62,6 A	875,8 A	15,4 EF	1222 CDE
Adubação Inorgânica	30,2 A	5,0 A	87,2 A	260,0 CDE	12,0 F	1414 E
5 Mg ha ⁻¹ RCo	40,0 A	5,4 A	66,6 A	458,4 B	16,0 EF	2518 CD
10 Mg ha ⁻¹ RCo	44,5 A	5,0 A	82,8 A	295,6 BCDE	18,4 CDEF	2318 CDE
20 Mg ha ⁻¹ RCo	40,8 A	5,0 A	80,8 A	213,8 DE	18,8 BCDE	2110 DE
30 Mg ha ⁻¹ RCo	38,0 A	5,0 A	77,2 A	170,8 E	20,0 ABCDE	2394 CDE
40 Mg ha ⁻¹ RCo	39,7 A	5,2 A	83,8 A	123,0 E	20,8 ABCDE	2538 CD
5 Mg ha ⁻¹ RCa	42,5 A	5,8 A	73,0 A	426,4 BC	16,8 DEF	3298 BC
10 Mg ha ⁻¹ RCa	42,2 A	8,8 A	92,6 A	392,2 BCD	26,0 A	4276 AB
20 Mg ha ⁻¹ RCa	35,1 A	7,2 A	85,2 A	164,2 E	23,8 ABC	4590 A
30 Mg ha ⁻¹ RCa	33,0 A	7,8 A	104,8 A	169,0 E	23,2 ABCD	4138 AB
40 Mg ha ⁻¹ RCa	34,6 A	8,8 A	106,6 A	154,0 E	25,0 AB	4542 A
Dose	(ns)	(ns)	(ns)	**	**	(ns)
Resíduo	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	**	**
Dose x Resíduo	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	(ns)	*
CV (%)	18,17	19,99	25,36	23,83	14,6	15,73

(ns)= não significativo; *= significativo ao nível de 5% de probabilidade; **= significativo ao nível de 1% de probabilidade; CV= Coeficiente de Variação

Em relação aos macronutrientes primários e secundários, todos apresentaram diferenças estatísticas, sendo que para fósforo, potássio, cálcio e magnésio, essa diferença foi apenas em relação ao resíduo utilizado, enquanto que para nitrogênio e enxofre as diferenças são relacionadas ao tipo de resíduo e às diferentes doses aplicadas.

Os resíduos apresentaram diferenças significativas em relação à adubação inorgânica e a dose que resultou em maior acúmulo de nitrogênio nas folhas foi a de 40 Mg ha⁻¹ para ambos os resíduos. Segundo as especificações de Gonçalves (1995), os tratamentos que apresentaram média dos teores de nitrogênio adequados para as espécies de *Eucalyptus* foram os que receberam doses de 10, 20, 30 e 40 Mg ha⁻¹ de resíduo de calcário, resultado diferente do obtido por Possato (2010), que não observou variação significativa nos teores desse nutriente em função da elevação das doses do mesmo, e isso pode se explicar pelo

fato do autor ter usado um resíduo com algumas características diferentes, além de suas doses terem sido inferior e com menor intervalo entre as mesmas. Para os tratamentos que receberam as doses do resíduo compostado, não foram constatadas quantidades adequadas desse nutriente nas folhas, mesmo esse resíduo contendo mais matéria orgânica do que o outro. Esse resultado foi observado devido ao fato do resíduo de calcário possuir maior quantidade de nitrogênio que o composto. A resposta dos níveis de nitrogênio nas folhas em função das doses e resíduos aplicados pode ser observada na Figura 31, onde se têm os modelos de regressão ajustados em função de duas equações quadráticas.

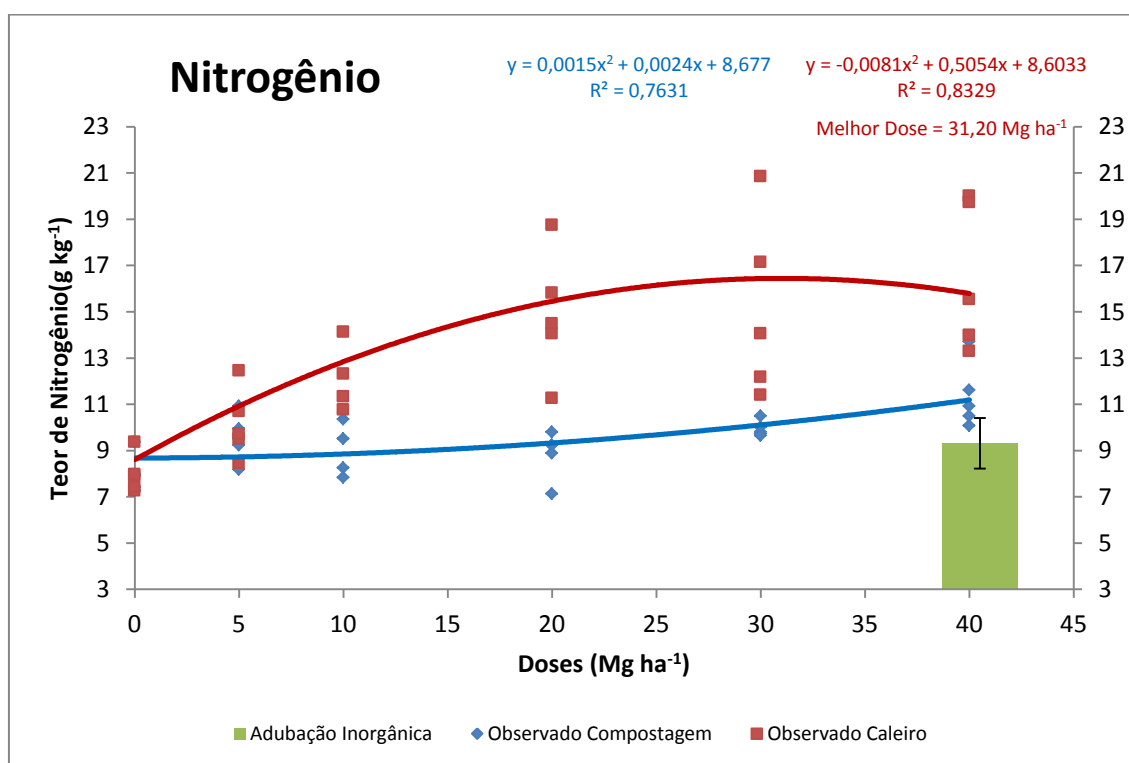


Figura 31. Teores de nitrogênio observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de nitrogênio nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de nitrogênio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Apesar das elevações proporcionadas pela adição dos resíduos, principalmente o proveniente da etapa de calcário, os teores de fósforo e potássio nas folhas não foram suficientes para serem considerados ideais às plantas, segundo a classificação proposta por Gonçalves (1995). A baixa concentração desses elementos nesse tipo de resíduo já é

conhecida, e Teixeira et al. (2006), que também utilizaram doses de resíduo proveniente da indústria de curtimento de peles para a fertilização de feijão, suplementou o lodo com fósforo e potássio de origem mineral. Pode-se verificar nas Figuras 32, para fósforo, e 33, para potássio, que o resíduo de calcário resultou em melhores resultados, mesmo esses não sendo satisfatórios. O comportamento desse resíduo é mostrado por uma regressão quadrática e outra linear para fósforo e potássio, respectivamente.

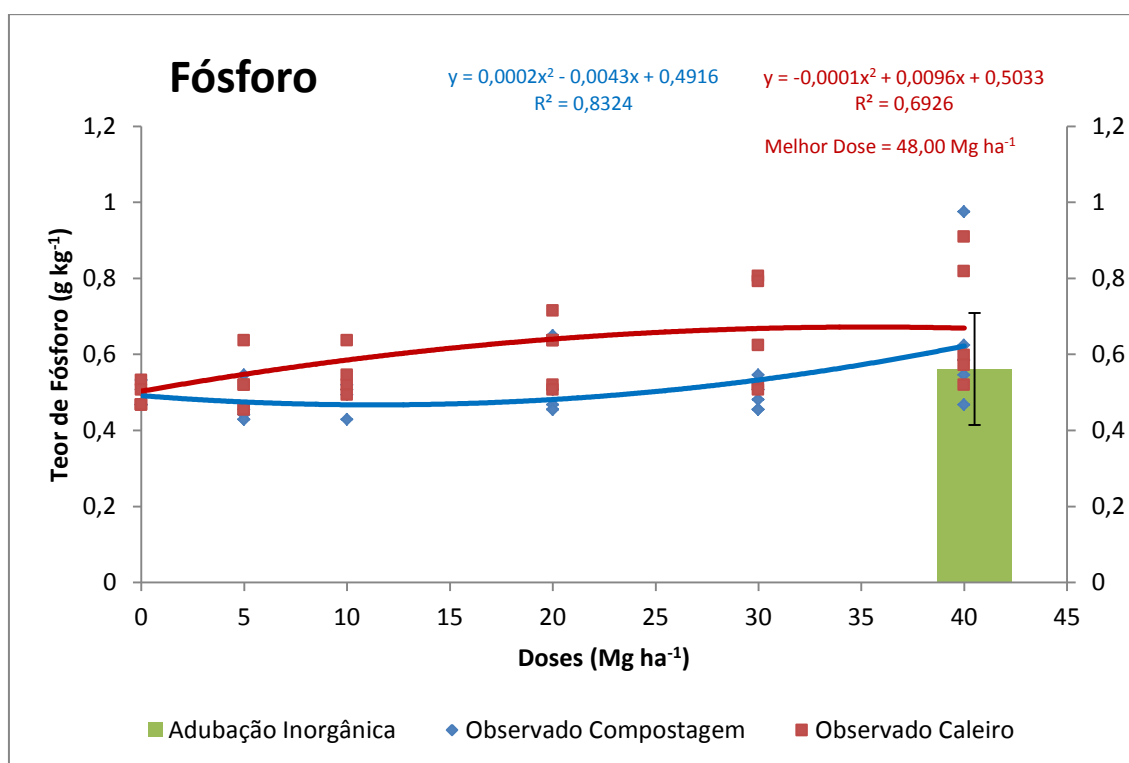


Figura 32. Teores de fósforo observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de fósforo nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de fósforo em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Assim como descreveram Araujo et al. (2006) em experimento utilizando resíduo de calcário e compostado para fertilizar milho, os dois resíduos fizeram os teores de cálcio das folhas se elevarem, sendo o resíduo de calcário mais efetivo que o compostado. Segundo Gonçalves (1995), os teores ideais para espécies do gênero *Eucalyptus* são de 6 a 10 g kg⁻¹, o que se pode concluir que todos os tratamentos apresentaram níveis satisfatórios, e que o resíduo de calcário fez com que os níveis desse nutriente ficassem até

acima da faixa ideal estabelecida pelo autor. As curvas das regressões que evidenciam o efeito das doses dos resíduos podem ser observadas na Figura 34.

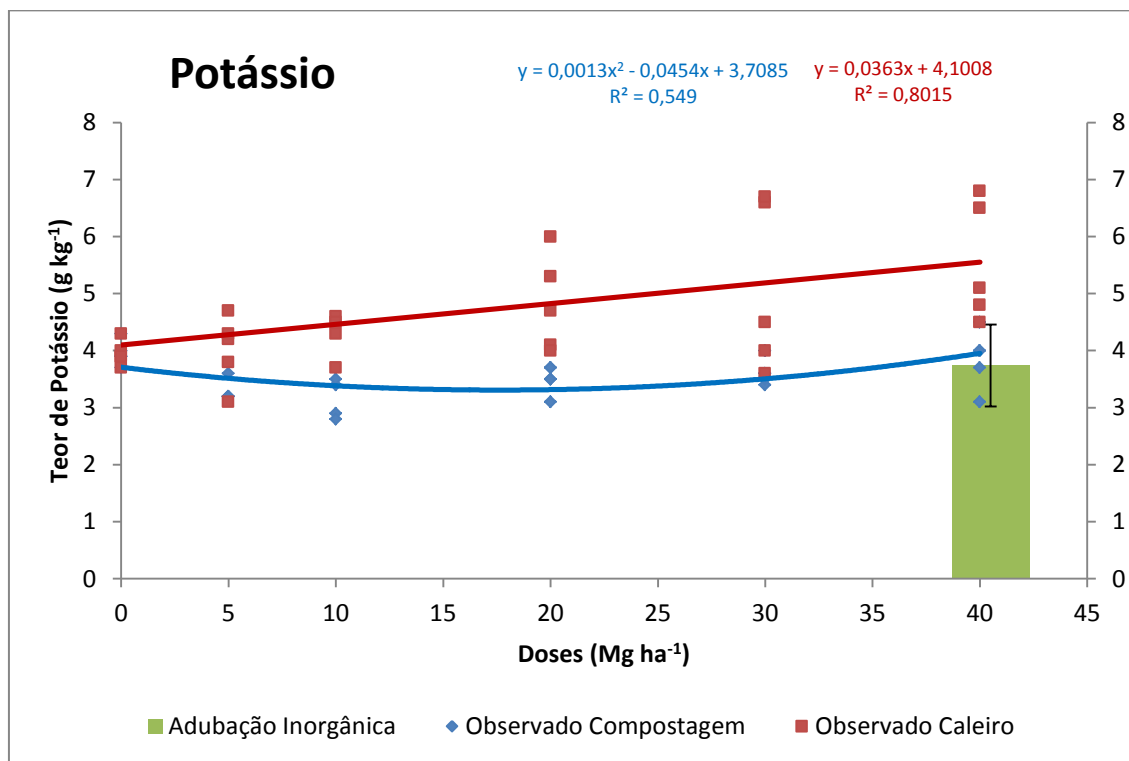


Figura 33. Teores de potássio observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de potássio nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de potássio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Os níveis de magnésio nas folhas não sofreram diferenças significativas em relação às doses aplicadas, mas sim em relação ao tipo de resíduo aplicado, sendo o material compostado o que mais contribuiu para o fornecimento desse nutriente. Os teores observados não foram suficientes para suprir as necessidades das plantas, de acordo com os teores ideais apresentados por Gonçalves (1995). Assim como no experimento realizado por Ferreira et al. (2003), o lodo de caleiro não foi uma boa fonte desse nutriente. O comportamento desse nutriente nas folhas, em função das doses e resíduos aplicados, podem ser observados na Figura 35.

Os teores de enxofre em todos os tratamentos, assim como descrito para o cálcio, estão em níveis considerados ideais para a cultura, segundo Gonçalves (1995).

As curvas das regressões podem ser vistas na Figura 36, onde observa-se que o lodo de calcário forneceu mais enxofre que o outro resíduo estudado, assim como descreveram Araujo et al. (2006) em experimento onde se testou resíduo de calcário e compostado.

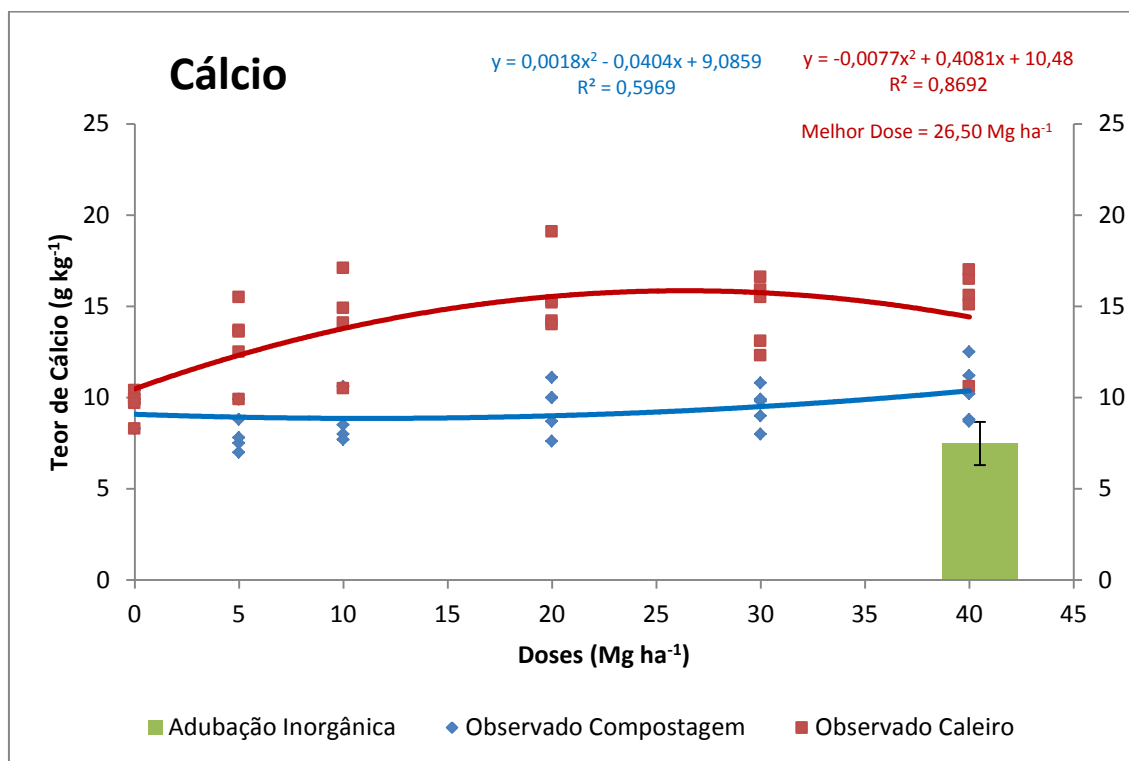


Figura 34. Teores de cálcio observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de cálcio nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de cálcio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

Diferentemente do solo, os teores de micronutrientes que apresentaram diferenças significativas foram só os de manganês e os de zinco, sendo que, para o primeiro parâmetro, o tipo de resíduo não interferiu nos níveis do elemento nas folhas, mas sim as doses aplicadas, enquanto que para o segundo ambas as variáveis influenciaram. Os teores de manganês foram inversamente proporcionais e os de zinco diretamente proporcionais às doses de resíduos aplicadas. Essas relações entre doses e resíduos com teor de manganês e zinco foram quadráticas para ambos os micronutrientes e podem ser observadas nas Figuras 37 e 38, respectivamente. Comparando os resultados com os índices de Gonçalves (1995), os teores de manganês estão ideais apenas para os tratamentos que receberam a dose de 5 Mg ha⁻¹ de

ambos os resíduos; já para zinco, em todos os tratamentos os teores desse micronutriente estavam abaixo da recomendação.

Para os demais micronutrientes, não se observaram diferenças significativas quando se variou o tipo e as doses de resíduos, sendo que para boro os níveis são considerados satisfatórios para todos os tratamentos, ao contrário do ferro que não foi observado em níveis ideais para nenhum dos tratamentos; para o cobre, os tratamentos com doses de lodo de caleiro iguais ou superiores a 10 Mg ha⁻¹ apresentaram valores dentro da faixa de teores adequados à cultura, segundo Gonçalves (1995).

Os teores de sódio nas folhas foram diretamente proporcionais às doses de resíduos aplicados e o resíduo de caleiro, por possuir mais sódio em sua constituição, fez com que seus tratamentos também resultassem em maiores teores desse elemento nas folhas. As curvas das regressões quadráticas podem ser checadas na Figura 39. Esses elevados teores de Na, juntamente com os elevados teores de Ca, principalmente nas plantas que receberam resíduo de caleiro, provavelmente influenciaram nas concentrações de Mg e K devido à inibição competitiva dos nutrientes. Esse resultado se mostra importante para a tomada de decisão da escolha da dose do resíduo a ser aplicada.

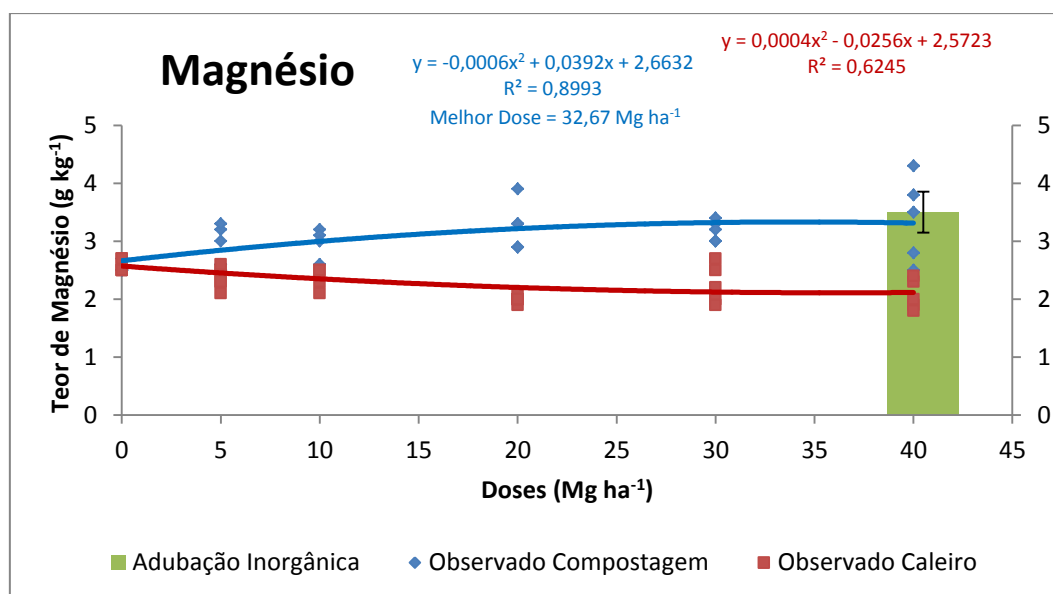


Figura 35. Teores de magnésio observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de magnésio nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de magnésio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

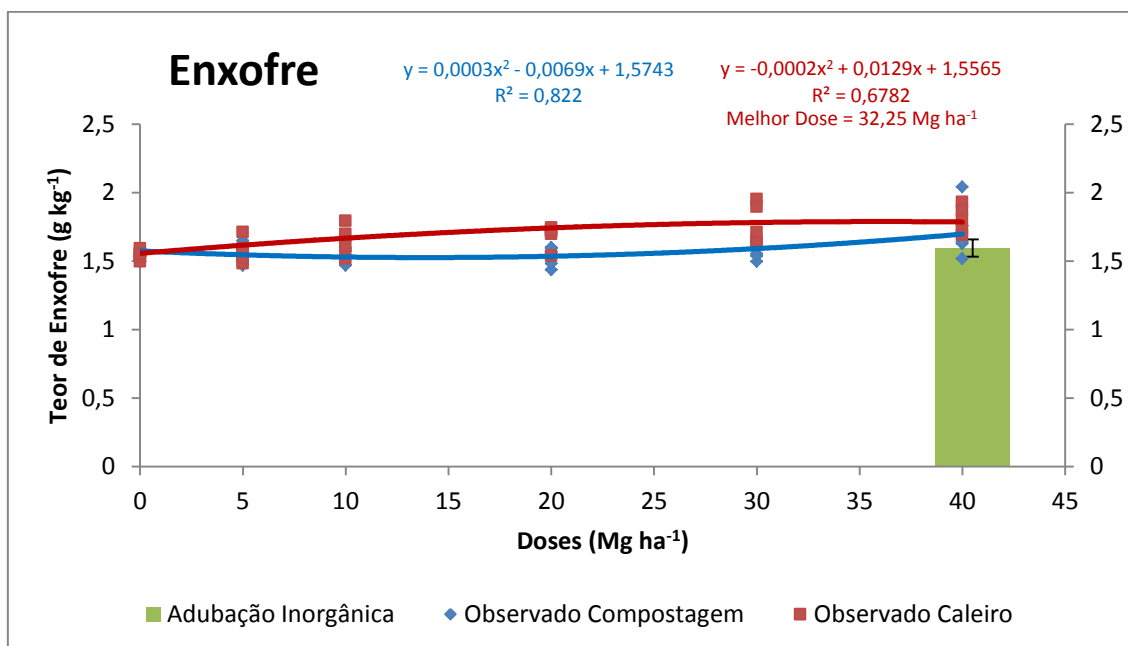


Figura 36. Teores de enxofre observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de enxofre nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de enxofre em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

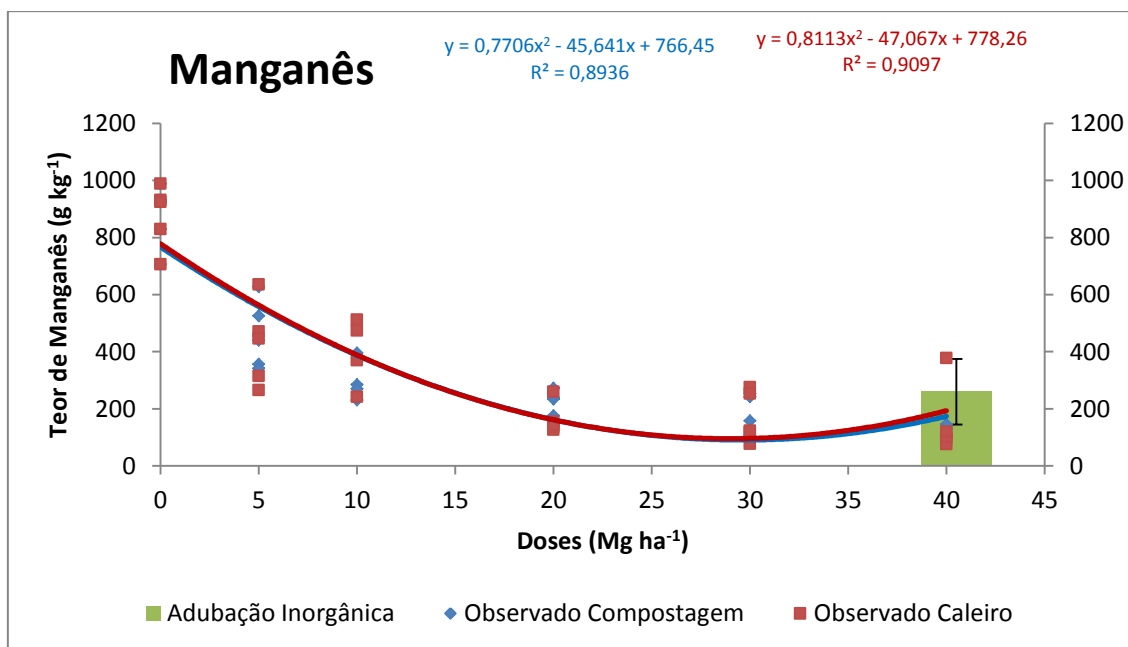


Figura 37. Teores de manganês observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de manganês nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de calcário, e teor médio de manganês em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

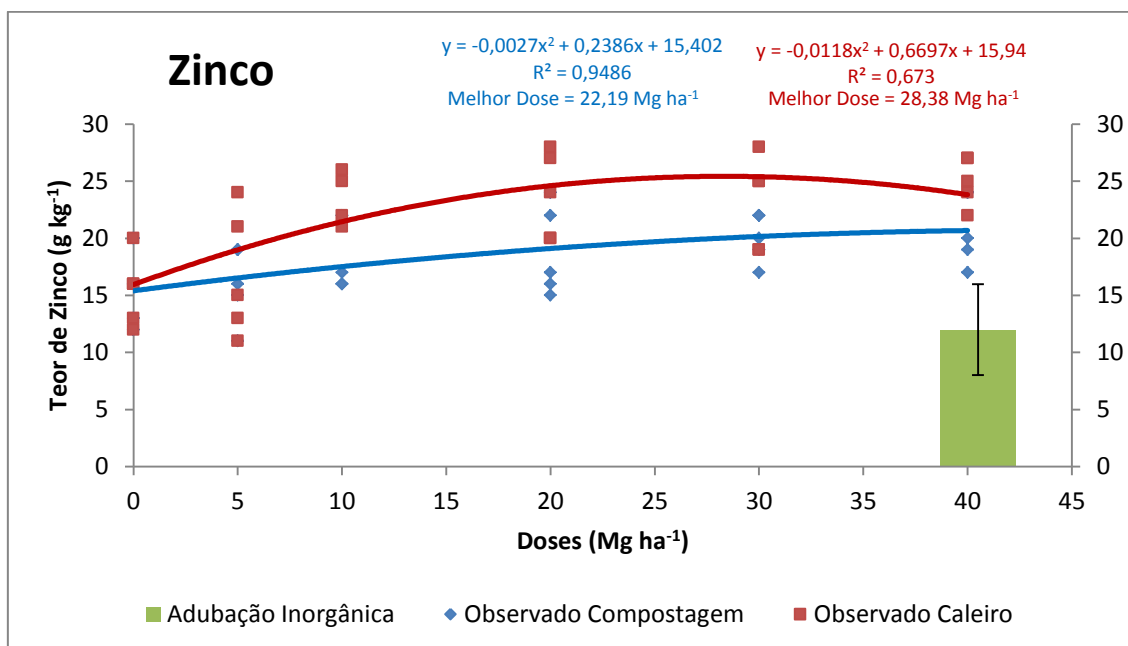


Figura 38. Teores de zinco observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de zinco nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de zinco em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

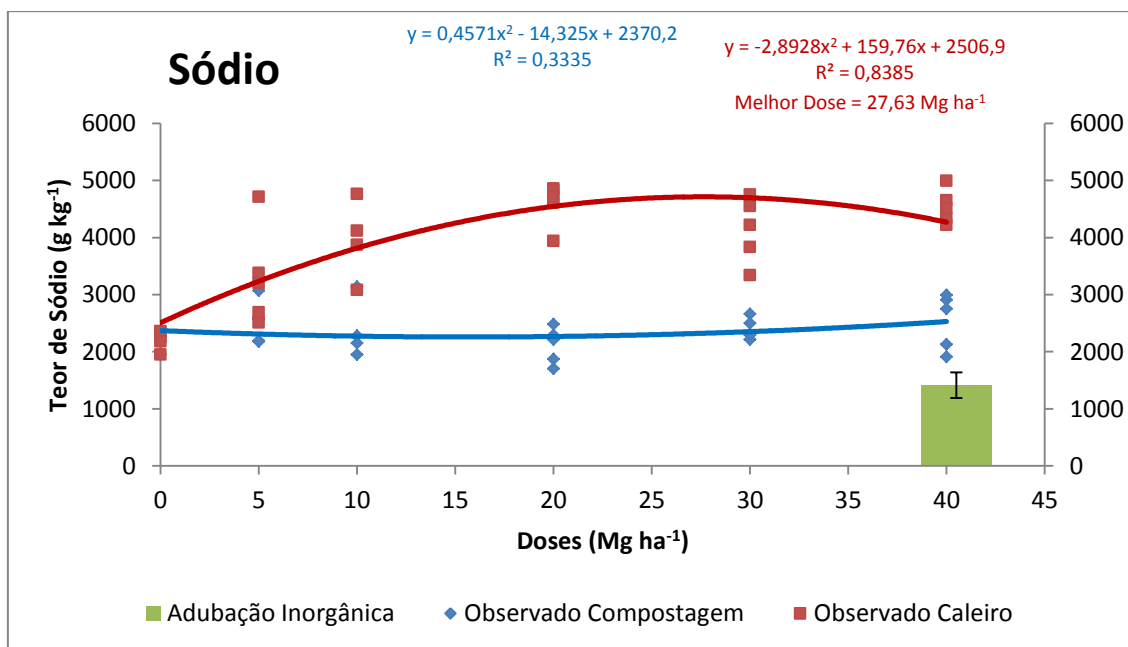


Figura 39. Teores de sódio observados das folhas de eucaliptos e ajuste das regressões para as médias dos teores de sódio nas folhas de eucalipto, em função das doses de resíduo compostado e resíduo de caleiro, e teor médio de sódio em folhas de eucalipto submetido à adubação inorgânica, após 5 meses.

5- CONCLUSÕES

Os resíduos de calcário e compostado melhoraram a fertilidade do solo, pois aumentaram os teores de cálcio e matéria orgânica, diminuíram os teores de alumínio, elevaram a CTC, V% e SB, além de elevarem os teores de fósforo, no caso do resíduo de calcário e de magnésio, no caso do compostado.

A utilização de doses crescentes de ambos os resíduos elevou os teores foliares de cálcio, nitrogênio e sódio.

As doses de 20 a 40 Mg ha⁻¹ proporcionaram melhores condições ao solo e ao crescimento das plantas.

Os elevados teores de sódio e cálcio, principalmente no resíduo de calcário, afetou as relações com os nutrientes K e Mg.

6- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sugere-se a realização de estudos complementares a esse, em escala de campo, para que sejam verificados os efeitos dos resíduos nas plantas, em ambiente não controlado. O monitoramento do solo quanto às substâncias potencialmente maléficas à cultura e ao solo, como o sódio, deve ser feito constantemente em período experimental.

Mesmo o resíduo de caleiro apresentando melhores resultados para alguns dos parâmetros analisados, para a escolha do resíduo a ser utilizado, deve-se considerar que o composto passou por um processo de transformação da matéria, o qual possui diversos benefícios, como: higienização da massa, degradação de substâncias orgânicas tóxicas, redução de odor e redução de massa e volume. Esses benefícios gerados pela compostagem, além de melhorar algumas características do material, o que torna esse processo aceito e indicado por diversos órgãos ambientais, facilitando a utilização desse tipo de material na agricultura. Por ser uma etapa de extrema importância, podendo interferir diretamente nas características dos resíduos, sugere-se também, que sejam realizados mais estudos e adaptações no processo de compostagem dos resíduos de curtume.

7- REFERÊNCIAS

ALCANTARA, M. A. K. et al. Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 4, p. 547-555, abr. 2007.

ARAÚJO, F. F. Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 33, n. 2, p. 355-360, 2011.

ARAÚJO, A. S. F. et al. Growth and nodulation of leucaena and prosopis seedlings in soil plus tannery sludge. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 1, p. 20-24, jan./mar. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF 2010**: ano base 2009. Brasília, DF, 2010. 140 p.

BARROS, M. A. S. D. et al. O processamento de peles. In: BARROS, M. A. S. D. et al. (Ed.). **Problemas ambientais com soluções catalíticas**: I. o cromo no processamento de peles. Madrid: Ciencia y Tecnologia para el Desarrollo, 2001. cap. 4, p. 37-63.

BRADY, N. C.; WEIL, R. R. **The nature and properties of soils**. 9th ed. New York: Macmillan, 1999. 750 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Decreto nº 4954, de 14 de janeiro de 2004. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p. 2, 15 jan. 2004, Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 23, de 31 de agosto de 2005. Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 173, p. 12, 08 set. 2005, Seção 1.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 27, de 05 de junho de 2006. Aprova os limites máximos de agentes fito tóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas admitidas nos fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 110, p. 15, 09 jun. 2006, Seção 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305, de 02 agosto de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 ago. 2010.

CAMPOS, J. J. et al. Lodo de curtume na produção de mudas de teca. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 29.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 13.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 11.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 8., 2010, Guarapari. **Anais...** Viçosa, MG: SBCS, 2010.

CASTILHOS, D. D.; TEDESCO, M. J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 26, n. 4, p. 1083-1092, 2002.

CAVALLET, L. E.; SELBACH, P. A. Populações microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2863-2869, 2008.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE CURTUME DO BRASIL. **Análise setorial edição 2011**. Brasília, DF, 2011. 48 p.

CHEESEMAN, J. M. Mechanisms of salinity tolerance in plants. **Plant Physiology**, Champaign, v. 87, n. 3, p. 547-550, Jul. 1988.

CLASS, I. C.; MAIA R. A. M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Porto Alegre: SENAI-RS, 1994. 664 p.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Lodos de curtume: critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos**. São Paulo, 1999. 38 p. (Manual Técnico, P4.233).

- COSTA, C. N. et al. Efeito da adição de lodos de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em soja. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 3, p. 189-191, set./dez. 2001.
- 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: UNESP, FCA, 1999. p. 487-91.
- FERREIRA, A. S. et al. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 27, n. 4, p. 755-763, 2003.
- FIGUEIREDO, J. M. et al. **Guia técnico sector dos curtumes**. Lisboa: INETI, 2000. 102 p.
- FRANKZAC, D. D. et al. Adição de dosagens de lodo de curtume em substrato comercial para produção de mudas de caroba (*Jacaranda cuspidifolia* Mart.). In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE SUBSTRATOS PARA PLANTAS, 2008, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: EMBRAPA Agroindústria Tropical, 2008.
- FRENKEL, H.; GOERTZEN, O.; RHOADES, J. D. Effects of clay type and content, exchangeable sodium percentage, and electrolyte concentration on clay dispersion and soil hydraulic conductivity. **Soil Science Society America Journal**, Madison, v. 42, n. 1, p. 32-39, 1978.
- GIACHETTI, G.; SEBASTIANI, L. Effects of tannery waste on growth dynamics and metal uptake in *Salix alba* L. **Plant Biosystems**, San António. v. 141, n. 1, p. 22-30, mar. 2007.
- GIANELLO, C. et al. Viabilidade do uso de resíduos da agroindústria coureiro calçadista no solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 2, p. 242-245, fev. 2011.
- GONÇALVES, J. L. M. Recomendações de adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e espécies típicas da Mata Atlântica. **Documentos Florestais ESALQ**, Piracicaba, v. 15, p. 1-23, 1995.
- GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Águas de Lindóia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. 1 CD-ROM.
- HOINACKI, E. **Peles e couros: origens, defeitos, industrialização**. 2. ed. Porto Alegre: SENAI/RS, 1994.
- KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Atividade microbiana em um planossolo após a adição de resíduos de curtume. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 7, n. 2, p. 131-135, maio/ago. 2001.

KRAY, C. H. et al. Tannery and coal mining waste disposal on Soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 32, p. 2877-2882, 2008.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

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 Fósforo, 1997. 319 p.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. 2005. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

MARTINES, A. M. et al. Ammonia volatilization in soil treated with tannery sludge. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 101, n. 12, p. 4690-4696, Jun. 2010.

MOREIRA, M. V.; TEIXEIRA, R. C. **Estado da arte tecnológico em processamento do couro: revisão bibliográfica no âmbito internacional**. Porto Alegre: Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003. 242 p.

NEVES, J. C. L.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. Efeito do alumínio em amostras de dois latossolos sob cerrado sobre o crescimento e a absorção de nutrientes por mudas de eucalyptus. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 6, n. 1, 17-28, jan/jun. 1982.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. São Paulo: CETESB, 2005. 76 p.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. **Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2008. 9 p. (Circular Técnica, 19).

POSSATO, E. L. **Uso de lodo de curtume em eucalipto e seu efeito no crescimento de mudas e nos atributos químicos de um cambissolo**. 2010. 48 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais)-Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Estadual de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres/Potafos, 1991. 343 p.

RAIJ, B. van (Ed.) et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. 2. ed. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 100, 1997. 297 p.

RAIJ, B. van, QUAGGIO, J. A. Métodos de análise de solo para fins de fertilidade. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo**, Campinas, n. 81, p. 1-31, 1983.

RAIJ, B. van et al. (Ed.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

- SAKTHIVEL, V.; VIVEKANANDAN, M. Reclamation of tannery polluted soil through phytoremediation. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, Lucknow, v. 15, n. 2, p. 175-180, Apr. 2009.
- SCHNEIDER, P.; SPERA, S. T. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, 2006. 412 p.
- SELBACH, P. A. et al. Descarte e biodegradação de lodos de curtume. **Revista do Couro**, Porto Alegre, v. 81, p. 83-94, 1991.
- SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO. **Florestas do Brasil em resumo: 2010: dados de 2005-2010**. Brasília, DF, 2010. 152 p.
- SHUKLA, O. P. et al. Growth responses and metal accumulation capabilities of woody plants during the phytoremediation of tannery sludge. **Waste Management**, Maryland Heights, v. 31, n. 1, p. 115-123, Jan. 2011.
- SILVA, D. M.; ARAÚJO F. F. Uso de lodo de curtume na composição de substratos para produção de mudas para reflorestamento. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 7, n. esp. jul./dez. 2011.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.
- TAVARES, L. S. **Lodo do curtimento para a produção de mudas de Paricá (*Schizolobium amazonicum*)**. 2010. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical)-Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2010.
- TEIXEIRA, K. R. G. et al. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 6, p. 1071-1076, nov./dez. 2006.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Report and recommendation on organic farming**. Washington, DC, 1980. 94 p.
- WADT, P. G. S.; NÓBREGA, M. S.; TEIXEIRA, S. T. Uso de resíduos de indústrias curtidoras na recuperação de áreas degradadas. In: GONÇALVES, R. C.; OLIVEIRA, L. C. **Embrapa Acre: ciência e tecnologia para o desenvolvimento sustentável do sudoeste da Amazônia**. Rio Branco, 2009. p. 423-444.