

CAMILA ROCHA PERGENTINO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO EUCALIPTO E FERTILIDADE DO SOLO APÓS
APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E COMPOSTO DE LODO**

**Botucatu
2019**

CAMILA ROCHA PERGENTINO DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO INICIAL DO EUCALIPTO E FERTILIDADE DO SOLO APÓS
APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E COMPOSTO DE LODO**

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

Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Co-orientadores: Prof. Dr. Sérgio Augusto Rodrigues
Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes

**Botucatu
2019**

S586d

Silva, Camila Rocha Pergentino da

Desenvolvimento inicial do eucalipto e fertilidade do solo após aplicação de lodo de esgoto e composto de lodo / Camila Rocha Pergentino da Silva. -- Botucatu, 2019

177 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu

Orientador: Iraê Amaral Guerrini

Coorientador: Sérgio Augusto Rodrigues

1. Adubação orgânica. 2. Resíduo urbano. 3. Nutrição mineral. 4. *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "DESENVOLVIMENTO INICIAL DE EUCALIPTO E FERTILIDADE DO SOLO APÓS APLICAÇÃO DE LODO DE ESGOTO E COMPOSTO DE LODO"

AUTORA: CAMILA ROCHA PERGENTINO DA SILVA

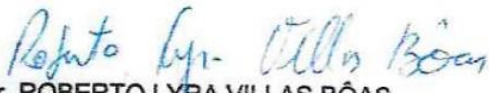
ORIENTADOR: IRAÊ AMARAL GUERRINI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. IRAÊ AMARAL GUERRINI

Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Prof. Dr. CÁSSIO HAMILTON ABREU JUNIOR

Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas / Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP

Botucatu, 26 de junho de 2019.

À minha amada avó,

Maria de Lourdes,

dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus, por sempre iluminar e guiar o meu caminho, me dando força e sabedoria para manter o foco e sempre seguir em frente.

Aos meus pais, Merce e Francisco, por terem me dado a vida e, com ela, a oportunidade de estar aqui.

Aos meus tios, Maria Ilda e Antônio Sergio, que, por opção, escolheram ser meus pais e me deram, desde sempre, todo suporte e apoio para que eu tivesse as melhores condições e pudesse alcançar meus objetivos. Não consigo expressar, em palavras, o quanto eu amo e sou grata a vocês!

Ao meu irmão, Pedro, que me fez e me faz evoluir sempre.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, pelos ensinamentos e pela orientação, dedicação, paciência e Amizade.

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Sergio Augusto Rodrigues pela disponibilidade e vontade de me ensinar e tirar minhas dúvidas, sempre com muita paciência e dedicação, e Prof. Dr. Dirceu Maximino Fernandes por todos os ensinamentos.

À equipe do projeto “Compostagem do Lodo de Esgoto: avaliação do processo, do produto gerado e dos custos”, pela amizade e toda a troca de conhecimento. É uma honra saber que minha pesquisa fez parte desse grande projeto.

A todos os funcionários do Departamento de Solos e Recursos Ambientais e, em especial, aos técnicos Noel e Jair, que se dedicaram na implementação, condução e encerramento do experimento.

Ao Pedrinho, técnico do Departamento de Engenharia Rural, que ajudou sempre que pôde, e ao Marcelo, técnico do Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia, que, de maneira muito solícita, possibilitou, com autorização do Prof. Dr. Alcides Lopes Leão, que eu realizasse parte do meu experimento nesse local.

Ao Felipe Giroto, que intermediou meu contato com o Departamento de Botânica, o que permitiu que eu usasse o laboratório desse departamento.

Ao Marcos Perdoná (Cupaco) por sempre estar disposto a ajudar e por colaborar com seus conhecimentos nas discussões sobre este trabalho.

A todos os amigos de pós-graduação, Aline, Deicy, Celso, Fabrício, Laura, Livia Goulart, Livia Lanzi, Luciane, Rafa Barroca, Rafa Lima, Rafa Pinheiro e Túlio, por toda ajuda, troca de experiência, boas conversas e risadas.

Às minhas irmãs da República Lactá, Cine (Bruna), Baobs (Thaís), Costela (Laís), Mipega (Gabriela), Impina (Bianca), Kole (Lígia), Pá (Bárbara) e Tabéfe (Laís), por todos os momentos vividos durante a graduação, os quais foram de muito aprendizado e companheirismo. E, agora, na pós-graduação, por mantermos os laços firmes e as recordações vivas dentro de nós, o que sempre proporciona ótimos momentos. Agradeço, em especial, à Cine, minha companheira de curso e de casa pós república, por toda troca de experiência e ajuda com questões acadêmicas.

Aos amigos de graduação, Busto (André), Blá (Danilo), Docinho (Cláudia), Caiçara (Jonas), Cogumelo (Mariane), Hannibal (Leandro), Maguila (Heloísa), Mc (Henrique), Narotcha (Paula), Paulada (Marcela) e Violeta (Carlos) pela amizade e toda a troca de experiência, que ainda se mantém. Agradeço, em especial, à Docinho e Narotcha, pelos encontros mensais, sempre com boas conversas.

Às minhas amigas de longa data - Adrie, Bruna, Carol, Carolina, Gaby, Natalinha e Rafaela - por todo incentivo e pelos bons momentos de sempre.

À família Rep Oca e Galinha Preta por todas as risadas e momentos de descontração, que trouxeram leveza para esse período de mestrado. Agradeço, em especial, à Violada (Fernanda), por ter aceitado, de coração aberto, dividir sua casa comigo.

Ao Lui, por estar ao meu lado em todos os momentos, sempre me trazendo tranquilidade e me dando coragem para seguir meus objetivos. Obrigada por ser essa pessoa incrível e por tanto companheirismo!

Ao meu Amigo, Dr. Celso Charuri, por ter compartilhado seus conhecimentos, os quais me trouxeram a luz e, assim, iluminam minha vida, trazendo clareza para minha caminhada.

À Eucatex SA. pelo fornecimento das mudas e das cascas de eucalipto.

À Sabesp pelo fornecimento do lodo de esgoto.

Aos membros da banca de qualificação, Dr. Richardson Barbosa Gomes da Silva e Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, pelas ótimas contribuições.

Aos membros da banca de defesa, Prof. Dr. Cassio Hamilton Abreu-Junior e Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas, pela disponibilidade e contribuições.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Por isso, agradeço à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos vocês!

“De qualquer forma, Senhor, muito obrigado por, apesar de ter me dado a capacidade para saber, obrigado por ter me dado a capacidade de Sentir”.

Dr. Celso Charuri

RESUMO

O uso de lodo de esgoto como fertilizante orgânico, além de ser uma alternativa para a destinação final desse resíduo, pode melhorar as propriedades do solo, já que é um material rico em nutrientes e matéria orgânica, podendo favorecer o desenvolvimento das plantas. O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto e composto de lodo no desenvolvimento inicial de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. O experimento foi conduzido em estufa plástica, sem controle ambiental, e foi composto por 48 vasos contendo 50L de Latossolo textura média. Trata-se de um experimento fatorial, com dois fatores: fertilizante orgânico (lodo de esgoto e composto de lodo – ambos sem adição de calcário) e dose (10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ + K), além de dois tratamentos adicionais (controle e adubação inorgânica indicada para a espécie). Cada tratamento foi composto por quatro repetições. A altura, diâmetro do colo e índice de cor verde foram medidos mensalmente, durante seis meses e a área foliar, massa de matéria seca, nutrição das plantas e fertilidade do solo foram avaliadas ao final do experimento (seis meses após plantio). Os dados foram submetidos à análise de variância, complementado com testes de comparações múltiplas e com ajustes de modelos de regressão polinomial para avaliar o efeito das doses, ao nível de 5% de significância. Tanto o lodo de esgoto, como o composto, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, forneceram quantidades de nutrientes, às plantas e ao solo, maiores que o controle e, maiores ou iguais à adubação inorgânica, mas nunca menor do que a mesma, o que explica as melhorias na fertilidade solo e no desenvolvimento das plantas, como maior altura, diâmetro, área foliar e produção de massa de matéria seca quando receberam essa quantidade de adubação de ambos os fertilizantes orgânicos. Ou seja, o lodo e o composto de lodo, quando usados nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, forneceram quantidades de nutrientes suficientes para as plantas de eucalipto terem um desenvolvimento inicial igual ou melhor que o proporcionado pela adubação inorgânica. No entanto, de maneira geral, o composto de lodo proporcionou melhores resultados em relação ao lodo de esgoto. Assim, para o desenvolvimento inicial do eucalipto, deve-se aplicar, em média, 45 Mg ha⁻¹ de composto de lodo.

Palavras-chave: Adubação orgânica. Resíduo urbano. Nutrição mineral. *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

ABSTRACT

The use of sewage sludge as an organic fertilizer, besides being an alternative for the final disposal of such waste, it may improve the soil properties, since it is a material rich in nutrients and organic matter, which may favor the development of plants. The objective of this work was to verify the effect of doses of sewage sludge and sludge compost in the initial development of a hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. The experiment was conducted in plastic greenhouse, without environment control, and was composed of 48 vessels containing 50L of dystrophic medium texture. It is a factorial experiment with two factors: organic fertilizer (sewage sludge and sludge compost – both without limestone) and dose (10, 20, 30, 40 and 50 Mg ha⁻¹ + K), plus two additional treatments (absolute control and mineral fertilization indicated to the species). Each treatment was composed by four repetitions. The height, stem diameter and index of green color were measured monthly, during six months and leaf area, dry matter mass, plant nutrition and soil fertilizer were evaluated at the end of the experiment. The data were subjected to analysis of variance, complemented with tests of multiple comparisons and adjustments of polynomial regression models to evaluate the effect of doses, at 5% level of significance. Both sewage sludge and sludge compost, in the doses of 40 e 50 Mg ha⁻¹, provided quantities of nutrients to plants and soil, higher than absolute control and greater than or equal to inorganic fertilization but never lower than it, what explain the improvements in the soil fertilizer and in the plants development like higher height, diameter, leaf area and production of dry matter mass when they received these quantities of both of organic fertilizers. So, the sludge and the sludge compost, when used in doses of 40 and 50 Mg ha⁻¹ provided enough quantities of nutrients for plants of *Eucalyptus* to have an equal to or better initial development than that provided by inorganic fertilization. However, the composted sludge usually provided better results than pure sludge. Thus, for the initial development of *Eucalyptus*, an average of 45 Mg ha⁻¹ of sludge compost should be applied.

Keywords: Organic fertilization. Urban residue. Mineral nutrition. *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da análise básica da amostra do Latossolo Vermelho utilizado no experimento, coletado na camada sub-superficial do setor da Patrulha, Faz. Experimental Lageado, Botucatu – SP, 2017.....	34
Tabela 2 - Caracterização dos micronutrientes da amostra do Latossolo Vermelho utilizado no experimento, coletado na camada sub-superficial do setor da Patrulha, Faz. Experimental Lageado, Botucatu – SP, 2017.....	35
Tabela 3 - Caracterização da amostra, em base úmida, dos dois fertilizantes orgânicos usados no experimento.....	37
Tabela 4 - Quantidade total de nutrientes aplicados ao solo.....	40
Tabela 5 - Altura e diâmetro das plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	50
Tabela 6 - Massa seca de cada parte da planta (folha, galho, caule e raiz) do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	56
Tabela 7 - Índice de cor verde e área foliar do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	63
Tabela 8 - Valores de pH, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	70
Tabela 9 - Valores de soma de bases (SB) e da saturação por base (V%) do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	71
Tabela 10 - Valores de fósforo e potássio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	74
Tabela 11 - Valores de cálcio e magnésio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	75
Tabela 12 - Valores de enxofre, sódio e alumínio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	80

Tabela 13 - Valores de boro, cobre e zinco do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....84

Tabela 14 - Valores de ferro e manganês do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....85

Tabela 15 - Concentração de nitrogênio nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....92

Tabela 16 - Concentração do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....95

Tabela 17 - Quantidade de nitrogênio nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....100

Tabela 18 - Quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....101

Tabela 19 - Concentração do manganês nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....108

Tabela 20 - Concentração do boro, cobre, ferro e zinco nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....111

Tabela 21 - Quantidade de manganês nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....114

Tabela 22 - Quantidade dos boro, cobre, ferro e zinco nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....114

Tabela 23 - Quantidade nitrogênio, fósforo e potássio nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....119

Tabela 24 - Quantidade cálcio, magnésio e enxofre nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	122
Tabela 25 - Quantidade manganês nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	125
Tabela 26 - Quantidade boro, cobre, ferro e zinco nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	125
Tabela 27 - Quantidade nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	130
Tabela 28 - Quantidade manganês nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	134
Tabela 29 - Quantidade boro, cobre, ferro e zinco nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	136
Tabela 30 - Quantidade total de nitrogênio e cálcio nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	140
Tabela 31 - Quantidade total de fósforo, potássio, magnésio e enxofre nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	141
Tabela 32 - Quantidade total de manganês nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.....	146
Tabela 33 - Quantidade total de boro, cobre, ferro e zinco nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses crescentes de lodo de esgoto e composto de lodo.....	148

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	26
2.1	Lodo de Esgoto	26
2.2	Uso de lodo de esgoto em florestas.....	29
2.3	Compostagem do lodo de esgoto.....	31
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1	Localização do experimento.....	34
3.2	Condições climáticas locais	34
3.3	Solo utilizado no experimento	34
3.4	Espécie estudada.....	35
3.5	Caracterização dos resíduos utilizados	36
3.6	Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	38
3.7	Implantação e condução do experimento.....	41
3.8	Avaliações	44
3.8.1	Variáveis Biométricas.....	44
3.8.1.1	Diâmetro de colo e altura das plantas	44
3.8.1.2	Massa de matéria seca de raízes, caule e folhas	45
3.8.1.3	Índice de cor verde.....	45
3.8.2	Variáveis Químicas	46
3.8.2.1	Avaliação do estado nutricional das plantas.....	46
3.8.2.2	Avaliação dos atributos químicos do solo.....	46
3.9	Análise de dados.....	47
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
4.1	Variáveis Biométricas.....	49
4.2	Fertilidade do Solo	68
4.3	Nutrição das Plantas	91
4.3.1	Concentração e quantidade de nutrientes nas folhas.....	91
4.3.2	Quantidade de nutrientes nos galhos e caule.....	118
4.3.3	Quantidade de nutrientes nas raízes.....	128
4.3.4	Quantidade total de nutrientes nas plantas	139
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	152
6	CONCLUSÕES	153
	REFERÊNCIAS.....	155

1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo doméstico cuja produção cresce na mesma proporção da população geradora. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2017), entre os anos de 2005 e 2015 o tratamento de esgoto no Brasil aumentou 11%, subindo de 31% para 42% de esgoto tratado, considerando que em 2015 apenas 50% do esgoto do país era coletado. Portanto, em um futuro próximo em nosso país, além do aumento populacional, espera-se que haja um aumento considerável na coleta e tratamento do esgoto, o que deverá aumentar, em muito, a produção de lodo.

A reutilização do lodo de esgoto pode ser feita através da sua aplicação em áreas agrícolas. Esse resíduo já vem sendo utilizado na agricultura há anos nos Estados Unidos e nos países desenvolvidos da Europa, mesmo com as leis ambientais extremamente rígidas existentes nesses países. No Brasil, entretanto, um país em desenvolvimento, em que cerca de 50% das cidades ainda não coletam seus esgotos, a Norma 375 do CONAMA (BRASIL, 2006) é tão, ou mais, restritiva do que as dos países desenvolvidos, em termos de presença de metais pesados e patógenos, dificultando o seu aproveitamento direto na área agrícola e florestal e incentivando o seu descarte em aterros sanitários. Com a instituição da Política Nacional de Resíduos Sólidos pelo governo federal em 2010 (BRASIL, 2010), as empresas de saneamento também foram proibidas de descartar o lodo de esgoto “puro” (tratado com polieletrólitos) diretamente nos aterros sanitários, forçando novos estudos para o uso ou descarte desse material. Nesse sentido, a busca por alternativas ecologicamente seguras e economicamente viáveis para o reaproveitamento do lodo é cada vez mais importante e necessária, pois permite que um material considerado descarte seja reintegrado ao ciclo produtivo (GODOY, 2013).

O uso de lodo de esgoto em florestas foi comprovado ser muito benéfico, sendo uma ótima alternativa para o reaproveitamento desse resíduo, que é considerado um material rico em matéria orgânica e que pode apresentar considerável concentração de nitrogênio e fósforo (SOBRINHO, 2000). A aplicação de lodo em plantações florestais é atrativa, pois a) os produtos dessas culturas normalmente não são comestíveis, não sendo destinados à alimentação animal e humana, b) há grande

disponibilidade de áreas florestais plantadas, c) os solos de plantações florestais geralmente são de baixa fertilidade, d) os nutrientes liberados pelo lodo são rapidamente absorvidos pela malha das raízes finas, e) há fitoremediação através da imobilização dos nutrientes na massa lenhosa, f) o intervalo de tempo entre as aplicações é grande (cinco a sete anos), gerando baixo impacto sobre o ecossistema e g) a aplicação nos talhões ocorre facilmente em qualquer época do desenvolvimento do plantio (HARRISON et al, 2003; SILVA & POGGIANI, 2005).

Na área florestal, o principal destino do lodo de esgoto são os plantios de eucalipto. Respostas de aumento da produtividade dessa espécie, com a aplicação desse resíduo urbano “puro”, são positivas, além de melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Por exemplo, a aplicação de 60 Mg ha^{-1} de lodo de esgoto no solo promoveu, para as camadas de 0 a 40 cm, um aumento significativo nos teores de K, Ca e Mg e nos teores de matéria orgânica e na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, havendo um incremento de CTC de 28,7 para 44,9 mmolc dm^{-3} (COLODRO; ESPINDOLA, 2006). O aumento na CTC e o aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes são aspectos proporcionados pelo lodo que melhoram a fertilidade do solo, podendo oferecer N às plantas em quantidades satisfatórias, além de P, S, Ca e micronutrientes fazendo dele uma ótima opção para solos tropicais muito intemperizados que possuem a CTC dependente da matéria orgânica (GUEDES, 2005).

Entretanto, após a publicação da Norma 375 do CONAMA em 2006, o uso do lodo de esgoto “puro” na área florestal ficou muito restrito, a partir de 2011. Diante disso, a compostagem foi uma das alternativas encontradas, no Estado de São Paulo, para atender às exigências da resolução CONAMA e facilitar a aprovação pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). Diversos agregantes ricos em carbono têm sido testados na compostagem do lodo como bagaço de cana, casca de eucalipto, casca de arroz, restos de poda das árvores, lixo urbano, etc.

Todavia, experimentos sob condições de campo utilizando o lodo de esgoto compostado são bem menos comuns na área florestal, por um lado, pela recente restrição do uso do lodo “puro”, e por outro, pelos custos de produção do composto. Dissertações e teses recentes, com artigos científicos ainda não publicados, demonstram alguns resultados insatisfatórios pelo uso do composto de lodo em plantios florestais.

Por exemplo, Leite (2012) obteve que a adubação inorgânica aplicada ao eucalipto promoveu um crescimento muito superior em relação à aplicação de 20 t ha⁻¹ de composto de lodo misturado com 15 t ha⁻¹ de cinza de madeira, sob condições de vaso. Outro resultado negativo foi o obtido por Toledo (2013; não publicado), o qual comparou doses crescentes de composto de lodo (0 a 25 t ha⁻¹) com a adubação inorgânica em mudas de eucalipto e pinus, sob condições de vaso.

Portanto, faz-se necessário encontrar alternativas para o uso de um resíduo que tende a ser cada vez mais produzido, devido ao aumento da população e do esgoto tratado. O eucalipto faz parte da família Myrtaceae e, de modo geral, apresenta crescimento rápido e respostas a variações da fertilidade do solo (MENDES et al., 2013; DIAS et al., 2015). Os testes com mudas dessa espécie contribuirão para avaliação da sua resposta nutricional ao lodo de esgoto e ao composto de lodo, mostrando o tempo de seu desenvolvimento em relação à aplicação de diferentes doses de dois tipos de fertilizantes orgânicos. O melhor resultado da adubação com composto de lodo em relação à adubação inorgânica poderá possibilitar o amplo uso desse resíduo em plantações de eucalipto.

Assim, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito da aplicação de doses de lodo de esgoto e composto de lodo no desenvolvimento inicial de um híbrido *E. gradis* x *E. urophylla* e na fertilidade do solo, considerando que: o eucalipto responde positivamente à aplicação de lodo de esgoto e de composto de lodo; a fertilidade do solo aumenta após aplicação de lodo de esgoto e do composto de lodo; e o desenvolvimento inicial do eucalipto é maior quando submetido ao lodo de esgoto em relação ao composto de lodo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Lodo de Esgoto

Lodo de Esgoto é um resíduo semi-sólido proveniente do tratamento de águas residuárias domiciliares e/ou industriais e que apresenta predomínio de matéria orgânica e diferentes teores de componentes inorgânicos (ANDRADE, 1999). O lodo de esgoto é predominantemente um resíduo dos tratamentos primários, em que ocorre a remoção dos resíduos sólidos grossos e de outras matérias em suspensão de forma mecânica como, por exemplo, gradeamento e decantação e, secundários, em que a matéria orgânica é eliminada através de processos biológicos (BERTON; NOGUEIRA, 2010).

Sabe-se que a geração de lodo de esgoto cresce de acordo com o aumento dos serviços de coleta e tratamento do esgoto, os quais tendem a acompanhar o crescimento populacional. Em função do aumento do número de ETEs (Estação de Tratamento de Esgoto) instaladas e da necessidade de se atender às exigências ambientais, o tratamento dos lodos nas ETEs vem ganhando cada vez mais relevância no Brasil (PEDROZA et al., 2010).

Para cada processo adotado na ETE, o lodo pode ser submetido a diferentes tipos de adensamento, estabilização, condicionamento e desidratação antes de sua disposição final (FERRAZ, 2009). De modo geral, a estabilização é utilizada para a redução da massa de lodo e de microrganismos patogênicos, além do controle de odor, enquanto o adensamento, condicionamento, a desidratação e secagem são utilizados para a remoção de água e redução do volume de lodo (TSUTYA, 2000). O lodo de esgoto pode ser condicionado com coagulantes inorgânicos, como sais metálicos (e. g. cloreto férrico) e cal virgem (CaO), ou com coagulantes orgânicos, como os polieletrólitos (GONÇALVES et al., 2001).

O uso de lodo de esgoto para benefício ambiental pode ocorrer de diversas maneiras. Na ecologia, a utilização desse resíduo orgânico, desde que a qualidade em termos de possíveis contaminantes esteja assegurada, é uma das maneiras mais corretas de disposição final, pois promove sua reciclagem (GUEDES, 2005). O uso de lodo de esgoto na agricultura também representa benefício ecológico, pois, além do benefício econômico, traz de volta ao campo parte da matéria orgânica, nutrientes e

energia que tinham sido exportados para os centros urbanos (POGGIANI et al., 2000). O aumento do estoque de carbono no solo proporcionado pelo uso do lodo de esgoto também pode ser visto como benefício ambiental, pois contribui para amenização do efeito estufa (GIBSON et. al., 2002). Do ponto de vista social, o uso de lodo de esgoto é muito benéfico para as grandes cidades, pois possibilita o uso de um dos resíduos mais problemáticos gerados nas áreas urbanas.

Quando aplicado ao solo, o lodo de esgoto promove alterações físicas, químicas e biológicas nos mesmos. As alterações físicas podem ocorrer através dos efeitos proporcionados pela matéria orgânica, a qual pode funcionar como condicionador dos solos, aumentando a agregação das partículas, favorecendo a entrada de água, a aeração e retenção de umidade, atenuando as perdas por erosão (SABEY, 1974; CARVALHO; BARRAL, 1981; ZHANG, 2001). Além de agregar as partículas promovendo um efeito cimentante no solo, a matéria orgânica presente no lodo de esgoto promove um “efeito mistura”, em que ele transfere ao solo suas características intrínsecas determinadas pela sua própria constituição (MARCIANO, 1999). O aumento na CTC e o aumento da disponibilidade de macro e micronutrientes são alterações químicas proporcionadas pelo lodo que melhoram a fertilidade do solo, fazendo dele uma ótima opção para solos tropicais muito intemperizados que possuem a CTC dependente da matéria orgânica, pois ele é um resíduo rico em material orgânico, o qual pode oferecer N às plantas em quantidades satisfatória, além de P, S, Ca e micronutrientes (GUEDES, 2005).

Porém, o lodo pode não ser um material balanceado em termos nutricionais, pois, apesar do N, P, S e Ca aparecem em grandes quantidades, o K é um elemento que se encontra sempre em baixos teores na composição desse resíduo, devido a sua alta solubilidade, o que dificulta sua retenção na massa orgânica (GUEDES, 2005). Para o mesmo autor, a lenta mineralização do resíduo também pode ser prejudicial, uma vez que a liberação de nutrientes pode não ocorrer quando a cultura mais precisa, havendo a necessidade de complementação com fertilizantes minerais para melhorar a fertilidade dos solos e a nutrição das plantas. O impacto do lodo no solo está associado às características do mesmo, às formas de manejo adotadas e aos aspectos edáficos de cada tipo de solo, como textura e composição mineralógica (PITOMBO, 2011).

A utilização do lodo de esgoto deve considerar que esse material possui uma composição e qualidade muito variadas, por conta dos diferentes processos de tratamento e porque está diretamente relacionado com o nível sócio-econômico da população, uma vez que resulta dos hábitos culturais, saneamento, saúde e estágio de desenvolvimento industrial de um país (GUEDES, 2005; PIGOZZO, 2003). Ele pode promover aumento da concentração e disponibilidade de metais pesados e compostos orgânicos poluentes no solo, o que, em geral, está associado à ocorrência de despejos industriais no esgoto (SMITH, 2009; NOGUEIRA et al., 2010; GUEDES, 2005) devendo receber atenção, em razão do impacto ecológico que pode causar, uma vez que a captura pelas plantas é a principal maneira dos metais entrarem na cadeia alimentar (CHANEY, 1990).

A ocorrência de organismos patogênicos também deve ser considerada na utilização do lodo de esgoto, pois esses organismos, que estão agrupados em ovos de vermes, bactérias, quistos de protozoários e vírus (FAO, 1978), podem causar doenças nas pessoas que lidam e nas plantas cultivadas, o que faz com que um excelente processo de desinfecção seja imprescindível antes do uso do resíduo como fertilizante orgânico (GUEDES, 2005).

Apesar de em outros países o reaproveitamento do lodo de esgoto como fertilizante orgânico já ser realizado há décadas (GODOY, 2013), no Brasil a reciclagem do lodo proveniente de estações de tratamento de esgoto sanitário é regulamentada pelo Ministério do Meio Ambiente por meio da Resolução nº 375/2006 do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA 6 (BRASIL, 2006), a qual define critérios relativamente rígidos quanto à concentração de metais pesados e à carga de organismos patogênicos presentes no lodo a ser aplicado ao solo, tornando-o, muitas vezes, inviável ao uso agrícola ou florestal.

Porém, ao considerar as legislações estrangeiras, principalmente a americana e a europeia, as restrições quanto à aplicação do lodo de esgoto no solo são menores (THOMAZ-SOCCOL et al., 2010), mesmo havendo estudos, em climas temperados, que comprovem a sobrevivência, no solo, de agentes patológicos por um longo período de tempo.

Devido à escassez de estudos realizados em países tropicais, há um grande questionamento da real necessidade de restrições quanto à aplicação de lodo em solos brasileiros. Muitos especialistas, profissionais e órgãos ambientais defendem a flexibilização da Resolução em questão, uma vez que a sobrevivência de

organismos patogênicos tem influência direta de condições ambientais, pois quanto maior a temperatura do ambiente, menor a resistência desses organismos (EDMONDS, 2000; KELLEY et al., 1984). Faria et al. (2017) avaliaram a sobrevivência de ovos viáveis de *Ascaris* spp. em plantio de eucalipto fertilizado com lodo de esgoto Classe B em solos tropicais e concluíram que, sob as condições climáticas analisadas, os ovos de *Ascaris* spp. permaneceram viáveis no solo por apenas sete semanas após a aplicação do lodo, diferente do que ocorre em regiões de clima temperado, onde é possível encontrar, após sete anos, resquícios de ovos viáveis de *Ascaris* (SMITH et al., 1999).

Para o cumprimento da legislação CONAMA 375, surgiu a possibilidade de misturar o lodo de esgoto com uma fonte de carbono, formando o composto a base de lodo de esgoto ou lodo compostado. A compostagem reduz e inativa patógenos, pois, através de um processo aeróbio, controla a decomposição biológica por microrganismos mesófilos e termófilos, havendo decomposição da matéria orgânica e criando condições que inativam os microrganismos patogênicos e parasitas, uma vez que esses são sensíveis a temperaturas elevadas (KIEHL, 1985).

Porém, em estudo realizado por Toledo (2013; não publicado), as respostas das plantas de eucalipto a determinadas doses de lodo de esgoto compostado foram piores que a adubação química, indicando que se há intenção de usar esse resíduo como fertilizante em plantios dessa espécie, faz-se necessária a realização de estudos com dosagens maiores de composto.

2.2 Uso de lodo de esgoto em florestas

A indústria brasileira de base florestal tem reconhecimento mundial pela alta produtividade de suas áreas plantadas, a qual, medida em volume de madeira produzida por unidade de área ao ano, é considerada a maior do mundo (IBÁ, 2017).

O eucalipto, devido as suas características de rápido crescimento, alta produtividade, ampla diversidade de espécies, grande capacidade de adaptação e por ter aplicação para diferentes finalidades, tem sido extensivamente utilizado em plantações florestais (FERRAZ, 2009), ocupando 9,8 milhões de hectares da área de florestas plantadas no Brasil (IBGE, 2018).

As plantações florestais de rápido crescimento são ecossistemas indispensáveis para o desenvolvimento do país, pois apresentam elevada produtividade, podendo suprir o mercado com produtos madeireiros e não madeireiros, e, conseqüentemente, atenuando a devastação das matas nativas remanescentes (POGGIANI, 2006).

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

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

Comparado aos sistemas agrícolas, o uso do lodo de esgoto em plantações florestais apresenta uma série de vantagens: a) florestas oferecem menor oportunidade de contato humano com o lodo de esgoto recém-aplicado e respondem à aplicação desse resíduo com elevado aumento de biomassa e de nutrientes absorvidos, o que é importante para os solos florestais, que são geralmente pobres, resultando em melhor aproveitamento e menores perdas dos nutrientes; b) o ciclo longo permite maiores intervalos e uma maior dinâmica entre aplicações, diferente do que ocorre em uma cultura agrícola, em que a aplicação deve ocorrer em uma determinada época, sendo possível, em uma plantação florestal, entrar no povoamento, a qualquer momento, para realizar a distribuição do resíduo; c) o sistema radicular perene e bem distribuído dos eucaliptos é um exemplo de como a cultura florestal pode interferir na absorção e retenção de elementos, pois forma um emaranhado de raízes na superfície do solo que aumenta a eficiência da absorção dos elementos e pode funcionar como um filtro, evitando, por exemplo, a lixiviação de nitrato, o que demonstra que os nutrientes do lodo, liberados de forma mais lenta,

podem ser melhor aproveitados pelas árvores, com menores perdas por lixiviação ou escoamento superficial; d) os produtos das culturas florestais normalmente não são comestíveis, atenuando o risco da entrada de possíveis contaminantes na cadeia alimentar (HART et al., 1988).

Além disso, de acordo com Labrecque et al. (1995), o conteúdo elevado de metais em plantações florestais é aceitável desde que a atividade fisiológica não seja afetada. Desse modo, as culturas florestais podem ser usadas como filtros, capturando, acumulando e armazenando poluentes dentro da biomassa, o que vai variar de acordo com a plantação florestal, uma vez que existe captura seletiva de metais, que ocorre, provavelmente, por conta das diferentes solubilidades no solo e preferência de determinada espécie florestal por diferentes metais (LABRECQUE et al., 1995).

Em relação ao crescimento das plantas, Henry et al. (1993) observaram que a aplicação de lodo de esgoto em quantidades adequadas para o ambiente (quantidades que não promovem a lixiviação, diminuindo os riscos de contaminação) resulta em altas taxas de resposta de crescimento, independente de serem plantios ou áreas que já se estabeleceram. Ao comparar a resposta do crescimento entre aplicação do resíduo e fertilização inorgânica, observou-se que no primeiro caso a resposta do crescimento foi maior e mais duradoura (HENRY et al., 1994). Para esses autores, a aplicação do lodo, nos sítios florestais, pode ter um resultado imediato, constatado pelo crescimento das árvores e da vegetação de sub-bosque e um resultado em longo prazo, devido ao aumento da produtividade da floresta.

Portanto, o uso do lodo de esgoto em plantios florestais é uma ótima alternativa para o reaproveitamento desse resíduo, pois além de dar nova utilidade a um material que seria descartado e assim aumentar a vida útil de aterros sanitários, ainda contribui para o aumento da produtividade da floresta.

2.3 Compostagem do lodo de esgoto

O termo compostagem está associado ao processo de tratamento dos resíduos orgânicos, sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola ou florestal (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

De acordo com Pereira Neto (1987), a compostagem é definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas; a segunda ou fase de maturação, quando ocorre o processo de humificação.

Os processos de degradação microbiana utilizam como ferramenta básica um ataque enzimático exocelular capaz de gerar, no meio, monômeros e íons suscetíveis de serem transferidos de forma específica ao interior celular e incorporados, desta forma, no metabolismo microbiano (CARCEDO et al., 2008).

Os resíduos orgânicos sofrem transformações metabólicas desde que fornecidas as condições de umidade, aeração e microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas, insetos etc., que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de matéria e energia (AQUINO, 2005). Como resultado da digestão da matéria orgânica por esses organismos, ocorre a liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio e, então, esses elementos, antes imobilizados na forma orgânica, tornam-se disponíveis para as plantas num processo conhecido como mineralização.

De acordo com Oliveira, Sartori e Garcez (2008), os materiais utilizados para a compostagem podem ser divididos em duas classes: materiais ricos em carbono (materiais lenhosos como a casca de árvores, aparas de madeira, podas dos jardins, folhas e galhos das árvores, palhas e fenos, e papel) e materiais ricos em nitrogênio (folhas verdes, estrumes animais, urinas, solo, restos de vegetais hortícolas, ervas etc.). Ainda segundo esses autores, a compostagem não deve ser feita com vidros, plásticos, tintas, óleos, metais, pedras, excesso de gorduras (podem liberar ácidos graxos de cadeia curta como o acético, o propiônico e o butírico, os quais retardam a compostagem e prejudicam o composto), ossos inteiros (os ossos só se devem ser usados se forem moídos) e carne (pode atrair animais) e, o papel pode ser utilizado desde que não exceda 10% da pilha, nem seja encerado (difícil decomposição) ou com cor (contém metais pesados).

Outro ponto importante para a compostagem é a dimensão das partículas dos materiais usados nesse processo. A decomposição inicia-se na superfície das partículas, onde existe oxigênio difundido na película de água que as cobre, e onde o substrato esteja acessível aos microrganismos e às suas enzimas extracelulares (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). As partículas pequenas apresentam maior

exposição de superfície e, portanto, são decompostas mais rapidamente desde que haja aeração adequada.

Durante a compostagem ocorre a elevação da temperatura e alterações na aeração, umidade, relação carbono/nitrogênio, teores de nutrientes e composição de microrganismos da matéria prima, de modo que estes fatores tendem a reduzir a presença de patógenos e contaminantes no lodo de esgoto, gerando um produto seguro para uso na agricultura (PEREIRA; WILSEN; NÓBREGA, 2013).

A compostagem do lodo de esgoto, desde que aconteça de acordo com as recomendações do CONAMA (nas suas Resoluções nº 375/2006 e 481/2017 (BRASIL, 2006, 2017), e com as Instruções Normativas do MAPA sob nº 27/2006, 35/2006 (BRASIL, 2006a, b), nº 25/2009 (BRASIL, 2009) e nº 05/2016 (BRASIL, 2016), possibilita a reutilização de um resíduo que é, em sua grande maioria, depositado em aterro sanitário. As resoluções CONAMA dão ênfase ao controle de qualidade com relação aos patógenos e metais pesados, enquanto as normativas do MAPA permitem a utilização agrícola do material compostado como fertilizante, condicionador do solo ou, ainda, como substrato. A reutilização do lodo de esgoto diminui os impactos ambientais, pois, entre outros aspectos, aumenta a vida útil dos aterros sanitários.

O termo composto orgânico pode ser aplicado ao produto compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal (ZUCCONI; BERTOLDI, 1987).

No caso do composto de lodo, o lodo de esgoto é misturado com uma fonte de carbono (restos de alimentos, resíduos de poda, bagaço de cana-de-açúcar, casca de eucalipto, etc.) e ocorre o processo biológico aeróbio por microrganismos, resultando em um material pronto para ser utilizado na área agrícola florestal.

O lodo de esgoto devidamente compostado apresenta em sua composição grandes quantidades de matéria orgânica e nutrientes essenciais para o crescimento vegetal, então, a aplicação agrícola florestal do composto de lodo passa a representar não apenas um benefício ambiental, mas também uma possível opção do ponto de vista técnico e econômico (BASIL et al., 2009).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi conduzido por seis meses, entre Julho de 2017 e Janeiro de 2018, em estufa plástica (estrutura metálica recoberta com plástico) sem controle ambiental, no departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP), situada no município de Botucatu - SP, cujas coordenadas geográficas são 22°40'31"S e 48°25'37"W e a altitude média é de 770 metros.

3.2 Condições climáticas locais

O clima de Botucatu, de acordo com a metodologia de Köppen, é classificado como Cfa, ou seja, clima temperado quente (mesotérmico) úmido, sendo 17 °C a temperatura média do mês mais frio e superior a 22 °C a do mês mais quente e, a precipitação média anual 1428,4 mm (CUNHA e MARTINS, 2009).

3.3 Solo utilizado no experimento

A amostra de solo usado, caracterizado como Latossolo Vermelho de textura média, foi coletado da camada sub-superficial do setor da Patrulha da Fazenda Experimental Lageado. Após ser peneirado em malha de 10 mm, retirou-se uma amostra composta do mesmo, a qual foi levada ao Laboratório de Fertilidade do Solo, localizado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP Botucatu). Então, foi realizada análise química completa, que abrange os macronutrientes, o pH (CaCl₂), a MO, a H + Al, a SB, a CTC, o V% e os micronutrientes, conforme a metodologia de Raij et al. (2001). Os valores detectados estão demonstrados nas tabelas a seguir.

Tabela 1 - Resultado da análise básica da amostra do Latossolo Vermelho utilizado no experimento, coletado na camada sub-superficial do setor da Patrulha, Faz. Experimental Lageado, Botucatu – SP, 2017

pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³						
4,3	24	5	60	0,9	8	2	11	70	15

Tabela 2 - Caracterização dos micronutrientes da amostra do Latossolo Vermelho utilizado no experimento, coletado na camada sub-superficial do setor da Patrulha, Faz. Experimental Lageado, Botucatu – SP, 2017

B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg dm ⁻³ -----				
0,25	1,1	40	0,5	0,2

3.4 Espécie estudada

Foram usadas mudas do clone I144, híbrido de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, um dos mais plantados no Brasil atualmente. As mudas foram fornecidas pela empresa Eucatex S.A.

Figura 1 - Muda de indivíduo híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* utilizada no experimento



Foto: Camila R. P. da Silva - 2017

Barra: 2,9 centímetros

3.5 Caracterização dos resíduos utilizados

Foram utilizados dois tipos de fertilizantes orgânicos à base de lodo de esgoto, sendo um compostado com casca de eucalipto e outro não.

O resíduo compostado foi resultante da compostagem de lodo de esgoto fornecido pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da Fazenda Lageado, em Botucatu, com cascas de eucalipto fornecidas pela empresa Eucatex S. A. O composto foi desenvolvido por pesquisadores da FCA/UNESP, que participaram de um projeto conjunto entre FAPESP-SABESP. A proporção usada foi de 1:1, ou seja, uma parte (caçamba – 3 m³) de material estruturante (casca de eucalipto) para uma parte (caçamba – 3 m³) de lodo de esgoto. O processo de compostagem foi realizado durante 45 dias, em área própria da Estação de Tratamento. Como o composto gerado apresentava partículas grandes de casca de eucalipto, foi feita separação fracionada do material através de peneira de 5 mm, comumente usada em empresas para peneiramento de substrato, antes da pesagem de cada tratamento, para que não houvesse interferência na real disponibilidade de nutrientes, uma vez que essas partículas não seriam decompostas no curto prazo do experimento.

O lodo de esgoto usado foi o gerado no tratamento de água realizado pela Sabesp na ETE da Fazenda Lageado, em Botucatu. Esse resíduo é digerido em reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanke), processo comum nas ETEs da Sabesp, e apresenta consistência pastosa e odor razoável. Durante o processo de tratamento, o lodo sofre adição de polieletrólito, polímero orgânico sintético de alta massa molar usado como coagulante ou auxiliar de floculação (NOZELA, 2014). Ao término do tratamento ele passa, apenas, pelo processo de secagem ao sol.

Figura 2 - Resíduos utilizados no experimento: Lodo de Esgoto, à esquerda e Composto de Lodo de Esgoto, já peneirado, à direita



Ambos os resíduos atenderam a legislação vigente e, para determinação química de seus nutrientes, foram submetidos à análise pelo Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, localizado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP - Botucatu), lembrando que foi feito o peneiramento do composto, em peneira com malha de 5 mm, antes de ele ser analisado. Os valores detectados estão demonstrados na tabela a seguir.

Tabela 3 - Caracterização da amostra, em base úmida, dos dois fertilizantes orgânicos usados no experimento

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	U-65°C	MO	C
	----- porcentagem ao natural -----								
Lodo de esgoto	1,8	2,6	0,1	1,4	0,2	1,7	40	24	13
Composto de lodo	2,4	2,7	0,2	1,7	0,3	2,2	12	40	22

	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N	pH
	----- mg Kg ⁻¹ ao natural -----							
Lodo de esgoto	516	62	125	24300	233	468	7/1	4,7
Composto de lodo	898	77	99	33836	373	431	9/1	5,7

3.6 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado, com arranjo fatorial duplo com dois tratamentos adicionais ($2 \times 5 + 2$), ou seja, dois tipos de lodo x cinco doses, mais o controle e a adubação inorgânica, com quatro repetições por tratamento. Portanto, o experimento foi composto por 48 vasos de 50 L, que correspondem a 12 tratamentos com 4 repetições cada um.

Os tratamentos foram constituídos por um controle (solo sem correção ou adubação qualquer), adubação inorgânica (solo adubado de acordo com os níveis de nitrogênio, fósforo e potássio exigidos pela espécie, além da calagem) e cinco dosagens diferentes do lodo de esgoto (LE) e do composto de lodo (CL), como apresentadas a seguir:

T1 - Controle (sem lodo de esgoto e sem adubo inorgânico);

T2 - Adubação Inorgânica (conforme cálculo da necessidade para N, P e K e calagem);

T3 - 10 Mg ha⁻¹ de LE (base seca) + suplementação com K;

T4 - 20 Mg ha⁻¹ de LE (base seca) + suplementação com K;

T5 - 30 Mg ha⁻¹ de LE (base seca) + suplementação com K;

T6 - 40 Mg ha⁻¹ de LE (base seca) + suplementação com K;

T7 - 50 Mg ha⁻¹ de LE (base seca) + suplementação com K;

T8 - 10 Mg ha⁻¹ de CL (base seca) + suplementação com K;

T9 - 20 Mg ha⁻¹ de CL (base seca) + suplementação com K;

T10 - 30 Mg ha⁻¹ de CL (base seca) + suplementação com K;

T11 - 40 Mg ha⁻¹ de CL (base seca) + suplementação com K;

T12 - 50 Mg ha⁻¹ de CL (base seca) + suplementação com K.

Para o cálculo da quantidade de lodo colocada em cada vaso foi levado em consideração o volume de solo presente na camada de 0-20 cm de solo em 1 hectare, além da umidade apresentada por cada um dos tipos de lodo, respectivamente.

Considerando que em 1 hectare, na camada de 0-20 cm, existem 200000 litros de solo, para vasos de 50 L deveriam ser aplicados 250, 500, 750, 1000 e 1250 g de lodo em cada vaso, para as dosagens de 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹, respectivamente. Entretanto, ao considerar a umidade de 40% no lodo puro e 12% no composto de lodo, as quantidades aplicadas nos vasos, correspondentes à sequência crescente das

dosagens utilizadas, foram: 417 g, 833 g, 1250 g, 1666 g e 2083 g de lodo de esgoto e 284 g, 568 g, 852 g, 1136 g e 1420 g de composto de lodo.

Em função das diferentes quantidades de nutrientes nas doses do lodo de esgoto e do composto de cada tratamento em relação à adubação inorgânica, foram calculados os valores de nutrientes efetivamente adicionados em cada tratamento (Tabela 4).

A quantia de fertilizante inorgânico e de K usado na suplementação dos tratamentos com fertilizante orgânico colocada em cada vaso será apresentada no item 3.7.

Tabela 4 - Quantidade total de nutrientes aplicados ao solo

Elementos	Adubo Inorgânico	Doses de Lodo de Esgoto e Compsoto de Lodo (Mg ha ⁻¹)									
		10		20		30		40		50	
----- Kg ha ⁻¹ -----											
		LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
N	6,6	20,9	12,9	41,7	25,8	62,5	38,6	83,3	51,5	104,2	64,4
P ₂ O ₅	28,8	29,9	14,5	59,7	29,0	89,6	43,5	119,4	57,9	149,3	72,4
K ₂ O	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
Ca	13,3	16,0	9,1	31,9	18,3	47,9	27,4	63,9	36,5	79,9	45,7
Mg	6,1	2,1	1,6	4,2	3,2	6,3	4,8	8,3	6,4	10,4	8,0
S	-	19,5	11,8	38,9	23,7	58,3	35,5	77,8	47,3	97,2	59,2
B	-	0,1	0,4	0,1	0,8	0,2	1,2	0,3	1,7	0,4	2,1
Cu	-	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4	0,2	0,6	0,2	0,7	0,3
Fe	-	28,2	18,2	56,2	36,5	84,4	54,7	112,5	72,9	140,6	91,1
Mn	-	0,3	0,2	0,5	0,4	0,8	0,6	1,1	0,8	1,3	1,0
Zn	4	0,5	0,2	1,1	0,5	1,6	0,7	2,2	0,9	2,7	1,2

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo).

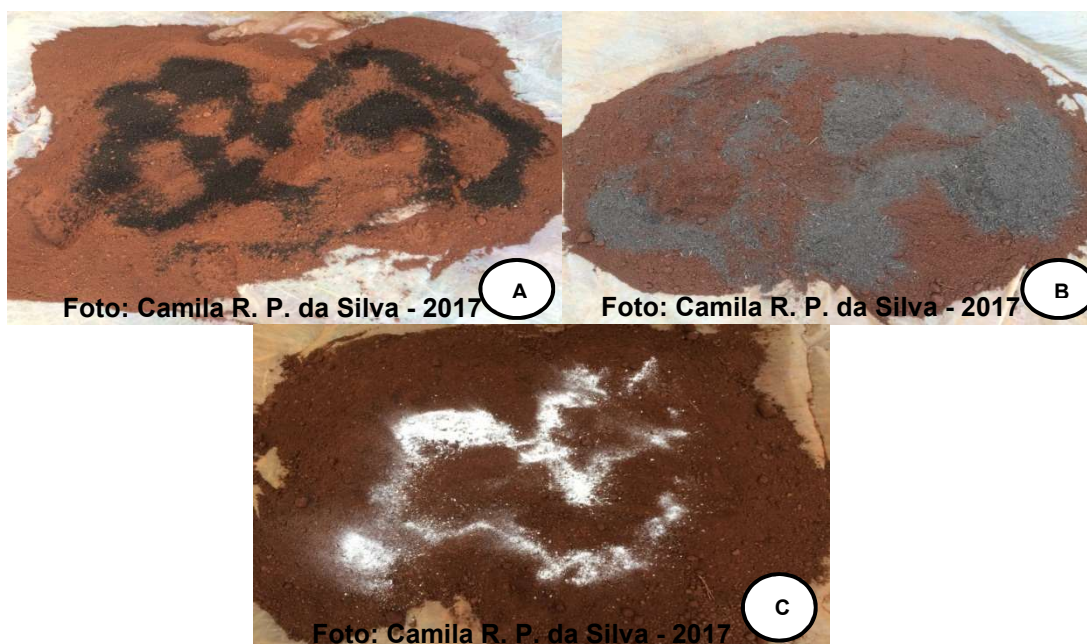
3.7 Implantação e condução do experimento

Cada um dos 48 vasos foi preenchido com solo descrito no item 3.3. As mudas de eucalipto, que foram fornecidas pela empresa Eucatex S.A. tinham, em média, 31 cm e foram plantadas em vasos plásticos com capacidade de 50 L.

Conforme apresentado na Tabela 1, o solo coletado apresentava pH 4,3, o qual foi corrigido mediante incorporação de calcário dolomítico (41,5% de CaO; 22,6% de MgO e PRNT de 93%). A necessidade de calagem foi determinada de acordo com cálculo apresentado por Gonçalves et al. (1997) para o eucalipto, de modo que, em cada vaso, misturou-se 26,9 g do calcário. A calagem foi feita no dia 06 de julho de 2017 apenas no tratamento correspondente à adubação inorgânica (T2). A mistura dos lodos com o solo foi feita nesse mesmo dia. O solo dos vasos com aplicação de calcário foi incubado em umidade próxima à capacidade de campo por um período de 15 dias, mantendo-o umedecido. Os vasos dos outros tratamentos mantiveram-se secos durante esse período.

A adição e incorporação dos resíduos e do calcário ao solo foram feitas com auxílio de lona plástica, como apresentado nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 - Processo de adição e incorporação dos resíduos e do calcário em cada vaso



(a) Adição do lodo de esgoto ao solo; (b) Adição do composto de lodo ao solo; (c) Adição do calcário ao solo.

Figura 4 - Incorporação dos tratamentos adicionados ao solo



No dia 07 de julho de 2017, após 15 dias de incubação, os vasos do T2 foram adubados com N, P e K, de acordo com a necessidade, utilizando-se como fontes ureia, superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Foram aplicados: 8,3 g de ureia, 36 g de superfosfato triplo e 8,8 g de cloreto de potássio na superfície das quatro repetições do tratamento com adubação inorgânica. Também foi aplicado Zn nesse tratamento, devido ao baixo teor desse nutriente apresentado na análise química do solo utilizado. Foi aplicada solução de 100 ml de água destilada, contendo 5 g de cloreto de zinco para cada vaso. Esses valores convertidos em Kg ha^{-1} representariam a aplicação de: $13,8 \text{ Kg ha}^{-1}$ de ureia, 60 Kg ha^{-1} de superfosfato triplo, $14,7 \text{ Kg ha}^{-1}$ de cloreto de potássio e $8,3 \text{ Kg ha}^{-1}$ de cloreto de zinco. Nesse mesmo dia, foi feito o transplântio das mudas de eucalipto I144 (Figura 5) e a medição de altura e diâmetro de colo das mesmas.

Figura 5 - Experimento conduzido na Casa de Vegetação do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP Botucatu), com as mudas de eucalipto I144 no dia do transplantio



Foto: Camila R. P. da Silva - 2017

Após 20 dias de experimento, foi feita aplicação de 7,5, 6,4, 5,2, 3,9, e 2,8 g de cloreto de potássio nos vasos dos tratamentos com 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, respectivamente, e 7,6, 6,4, 5,3, 4 e 2,8 g do mesmo fertilizante para a mesma sequência de doses de composto de lodo. Esses valores convertidos em Kg ha⁻¹ representariam a aplicação de: 12,5, 10,7, 8,7, 6,5, 4,7 Kg ha⁻¹ de cloreto de potássio para os tratamentos com 10, 20, 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto, respectivamente e 12,7, 10,7, 8,8, 6,7, 4,7 Kg ha⁻¹ do mesmo fertilizante para a mesma sequência de doses de composto de lodo.

Essas quantidades foram calculadas levando em consideração a quantidade de cloreto de potássio aplicada no tratamento com adubação inorgânica e a quantidade de K₂O que já estava presente nos fertilizantes orgânicos, para que o solo recebesse a mesma quantidade de K₂O em todos os tratamentos. Essa aplicação já era prevista, visto que o K encontra-se sempre em baixos teores na composição do lodo de esgoto, devido a sua alta solubilidade, o que dificulta sua retenção na massa orgânica. Nesse período, foi observado que algumas plantas dos tratamentos com lodo já apresentavam deficiência de K (Figura 6).

Figura 6 - Indivíduo apresentado sinais de deficiência de K e aplicação do fertilizante



Durante todo o experimento, os vasos foram irrigados de acordo com a necessidade das mudas, em função do clima e umidade, em cada período do dia, a fim de manter a umidade do solo e prevenir a perda dos nutrientes por lixiviação. Os tratos culturais foram efetuados de acordo com as necessidades.

3.8 Avaliações

3.8.1 Variáveis Biométricas

3.8.1.1 Diâmetro de colo e altura das plantas

Após o plantio, foram realizadas medições mensais de altura e diâmetro das plantas através de régua graduada e paquímetro digital, respectivamente. As medidas do diâmetro do colo foram feitas a 2 cm acima da superfície do solo e as da altura foram feitas da superfície do solo até a gema apical. As medições ocorreram em um período de seis meses (julho de 2017 a janeiro de 2018).

3.8.1.2 Massa de matéria seca de raízes, caule e folhas

A avaliação de massa de matéria seca foi realizada seis meses após o plantio das mudas (ao final do experimento).

Para tal, primeiro foi feita coleta da parte aérea das plantas, separando-a em folhas, galhos e caule. As folhas foram colocadas em isopor com gelo e levadas até o laboratório para medição de área foliar, a qual foi feita usando o equipamento Licor 3100 (Licor Inc., Lincon, Nebraska, EUA). Os galhos e caules foram acondicionados em sacos de papel e levados para secagem em estufa de circulação forçada de ar a 60° C até atingirem massa constante, processo pelo qual as folhas também foram submetidas após a medição de área foliar. Enquanto a parte aérea da planta passava pelo processo de secagem, as raízes foram lavadas, cuidadosamente, em água corrente e depois também foram colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 60 °C. Ao atingir massa constante, todo o material foi pesado em balança de precisão para obtenção da massa de matéria seca e armazenado em local adequado para posterior análise química.

3.8.1.3 Índice de cor verde

O índice de cor verde (ICV) das folhas de eucalipto foi determinado, mensalmente, durante todo o período experimental, utilizando-se um clorofilômetro da marca Minolta®, modelo SPAD-502. Para a determinação do ICV, foram selecionadas três folhas recém-maduras localizadas no terço médio superior da planta e em cada folha foram feitas medições em dois pontos, totalizando seis pontos de medição por planta. A escolha dessa metodologia foi feita considerando que as folhas recém-maduras do terço médio superior da planta são as que estão mais fotossinteticamente ativas.

3.8.2 Variáveis Químicas

3.8.2.1 Avaliação do estado nutricional das plantas

Com o objetivo de avaliar o estado nutricional das mudas, em função dos tratamentos, ao final dos seis meses, as folhas do terço médio superior (incluindo os pecíolos), o caule, galhos e raiz foram secos em estufas de ventilação forçada. Após secagem, as amostras foram moídas em moinho tipo Willey (peneira de 20 mesh) e enviados para análise no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas “Profª Drª Leonia Aparecida de Lima”, localizado no Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agronômicas (UNESP - Botucatu).

O caule e os galhos de cada planta, após serem moídos, foram colocados em uma única amostra e então enviados para análise, ou seja, foi feita uma homogeneização de todas as repetições, de cada tratamento, utilizando-se as 48 plantas. As folhas do terço médio superior representam uma média da concentração de nutrientes que a planta apresenta, uma vez que as folhas do terço superior são recém-formadas e apresentam alta concentração de nutrientes e as folhas do terço inferior estão próximas da senescência e apresentam baixa concentração de nutrientes, o que justifica a escolha dessa metodologia.

As análises químicas dos elementos (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na) contidos no material vegetal foram realizadas por digestão sulfúrica (N), digestão seca (B) e nítricoperclórica (demais elementos). O P e o B foram determinados por colorimetria, o teor de N pelo método micro-Kjeldhal, o K e Na por fotometria de chama, o S por turbidimetria e os demais elementos por espectrofotometria de absorção atômica, conforme descrito por Malavolta et al. (1997).

3.8.2.2 Avaliação dos atributos químicos do solo

Foram submetidas à análise química, para fins de fertilidade, duas amostras de solo, uma antes do plantio das mudas e outra ao término do experimento. A primeira (Tabelas 1 e 2) corresponde à análise do solo coletado, antes do preenchimento dos vasos, em que foram selecionados diferentes pontos para composição da amostra. A segunda foi feita ao final do experimento, a qual foi feita individualmente para cada vaso. Para isso, foram coletados quatro pontos em cada

vaso, de 0 a 20 centímetros de solo, a fim de compor uma amostra individual, a qual foi seca, peneirada em malha de 2 mm e então enviada para análise no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, localizado Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (UNESP Botucatu).

Nas amostras coletadas foram determinados pH (CaCl_2), fósforo disponível, alumínio trocável (Al^{+3}), acidez potencial ($\text{H} + \text{Al}$), potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre, ferro, manganês e zinco, e calculadas capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V%) de acordo com as metodologias descritas por Raij et al. (2001).

3.9 Análise de dados

Os dados foram inicialmente avaliados quanto às pressuposições (normalidade e homocedasticidade de variância) do modelo utilizado. Quando as pressuposições foram atendidas, os dados foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA) para identificar efeitos significativos da interação entre os lodos e as doses (LxD), efeitos médios significativos entre os lodos (L), entre a adubação com lodos e com os tratamentos adicionais: testemunha e inorgânica (FatxAd) e o efeito das doses de lodo (D). No caso de efeito significativo da interação, o teste de comparações múltiplas de Tukey, a 5% de significância, foi utilizado para identificar diferenças significativas entre os tipos de lodo em cada uma das doses utilizadas, e as diferenças entre o efeito médio dos lodos e dos tratamentos adicionais. Caso contrário, o teste de Tukey foi utilizado para identificar diferenças significativas entre os efeitos médios dos lodos, independentes das doses. Já o efeito das doses foi avaliado por meio do ajuste de modelos de regressão polinomial com significância estatística de 5%. Foi usado teste de Tukey, pois, além de ser rigoroso e de fácil aplicação, se trata de um dos testes de comparação mais utilizados, uma vez que, de acordo com Oliveira (2008), é exato e testa toda e qualquer diferença entre duas médias de tratamento.

Quando as pressuposições não foram atendidas, foi utilizada a transformação de Box cox (BOX; COX, 1964).

A significância das comparações foi apresentada por meio de letras minúsculas (comparação entre os tipos de lodo e tratamentos adicionais). Todos os resultados analíticos foram discutidos ao nível de 5% de significância.

Para os cálculos e execução das técnicas de análise de dados propostas, foi utilizado o software livre R-Gui (R CORE TEAM..., 2017).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis Biométricas

Os dados de altura e diâmetro foram coletados durante os seis meses de experimento, sendo os dados da última coleta (altura final e diâmetro final) submetidos à análise estatística para avaliação da resposta das espécies aos tratamentos.

A partir da análise de variância dos dados dessas variáveis biométricas, observou-se que tanto altura quanto diâmetro não apresentaram efeitos significativos na interação tipo de fertilizante orgânico e doses (LxD), $p=0,154$ e $p=0,247$ respectivamente, ou seja, estas variáveis apresentaram o mesmo comportamento ao longo das doses, independente do tipo de adubo orgânico utilizado (perfis médios de respostas são paralelos). No entanto, a altura apresentou diferença significativa entre as médias dos dois tipos de fertilizante orgânico ($p=0,002$) e entre os lodos e os tratamentos adicionais ($p<0,001$), enquanto que, para o diâmetro, o único tratamento que apresentou diferença estatística significativa foi o controle ($p<0,001$) em relação ao tratamento com adubação inorgânica e ao tratamento médio com adubo orgânico (fatorial) (Tabela 5), não havendo diferença significativa ($p=0,231$) entre o lodo e o composto. O efeito da dose foi significativo tanto para a altura, quanto para o diâmetro, $p<0,001$ e $p=0,002$, respectivamente.

Tabela 5 - Altura e diâmetro das plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	ALTURA		DIÂMETRO	
	cm		mm	
Controle	88,0 d (6,9)		11,7 b (1,3)	
Adubo inorgânico	147,8 c (15,3)		28,3 a (1,2)	
LE	178,9 b (21,2)		25,8 a (2,4)	
CL	193,5 a (29,8)		26,5 a (1,8)	
LE/LC	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	154,0 (7,2)	151,0 (5,6)	22,9 (1,2)	25,1 (2,1)
20 Mg ha ⁻¹	176,0 (6,1)	181,5 (19,7)	24,6 (1,5)	26,9 (2,9)
30 Mg ha ⁻¹	173,0 (16,3)	202,5 (3,8)	27,1 (2,7)	26,8 (1,0)
40 Mg ha ⁻¹	200,3 (22,4)	219,0 (22,5)	27,6 (1,5)	27,3 (0,3)
50 Mg ha ⁻¹	196,8 (13,5)	220,8 (13,0)	27,1 (1,1)	26,7 (1,3)
CV%:	9,3		7,3	
FV:	<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>	
	<i>FO* e D*</i>		<i>FO^{ns} e D*</i>	

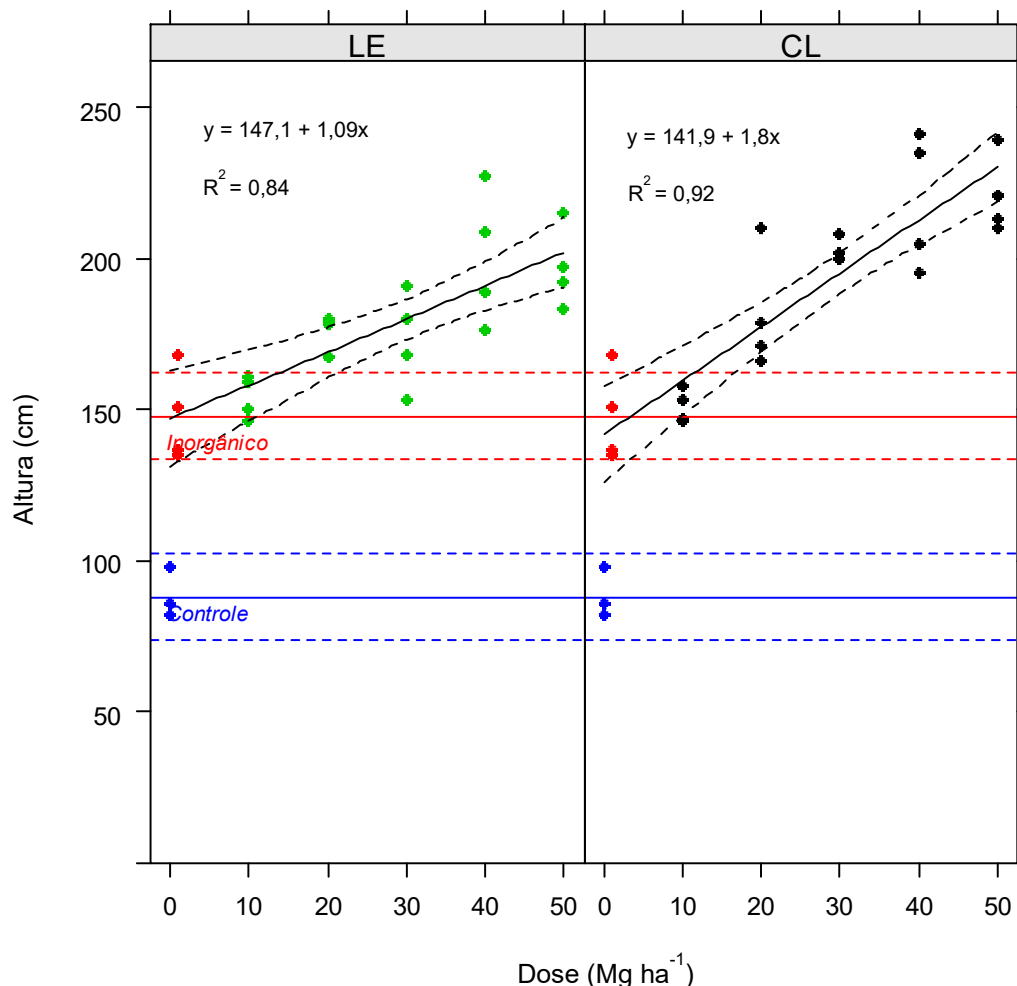
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos Adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

O efeito significativo das doses nas respostas médias destas duas variáveis foi avaliado por meio de modelos de regressão polinomial. O Gráfico 1 apresenta o modelo de regressão ajustado e o intervalo de confiança de 95% para a resposta média da variável altura para cada tipo de lodo. Verifica-se que a altura do eucalipto apresentou o mesmo comportamento em ambos os fertilizantes orgânicos, aumentando nas doses sequenciais de lodo (Gráfico 1).

No composto de lodo, a única dose que não diferiu significativamente da adubação inorgânica foi a de 10 Mg ha⁻¹, enquanto que, no lodo de esgoto, além da dose de 10 Mg ha⁻¹, a de 30 Mg ha⁻¹ também não apresentou diferença significativa do tratamento inorgânico. Entretanto, pode-se dizer que, em ambos os adubos orgânicos, em todas as doses, a altura das plantas foi maior que no controle. Em estudo feito por Leila et al. (2017), com proporções de lodo de esgoto aplicadas ao solo e avaliação do *Eucalyptus camaldulensis* após seis meses de plantio em vaso,

os autores também observaram os menores valores de altura para as plantas controle (0% de lodo) e maiores para plantas cultivadas com a maior proporção de lodo (60%).

Gráfico 1 - Altura do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

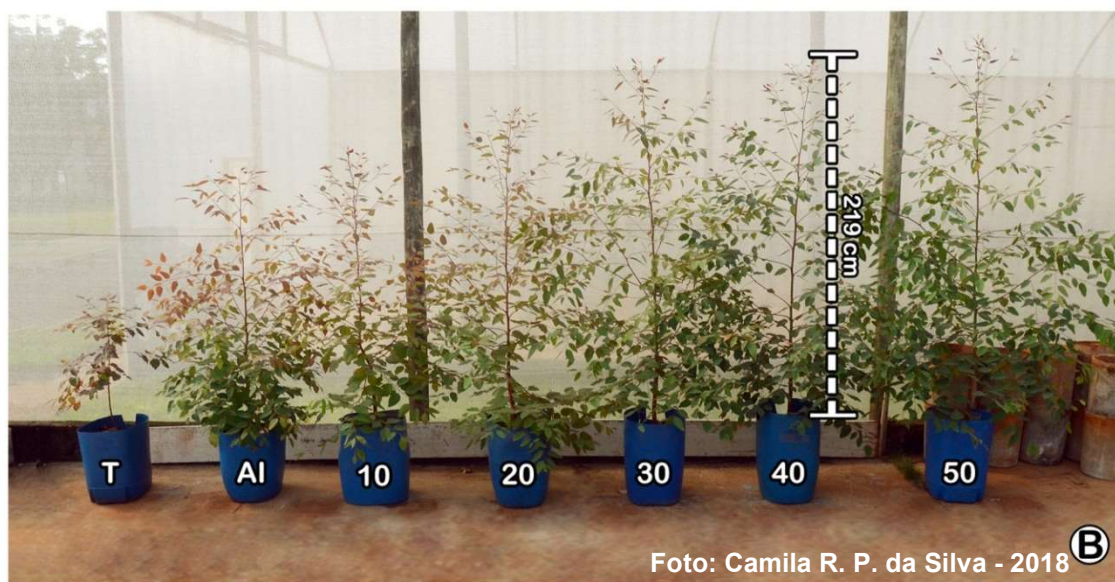
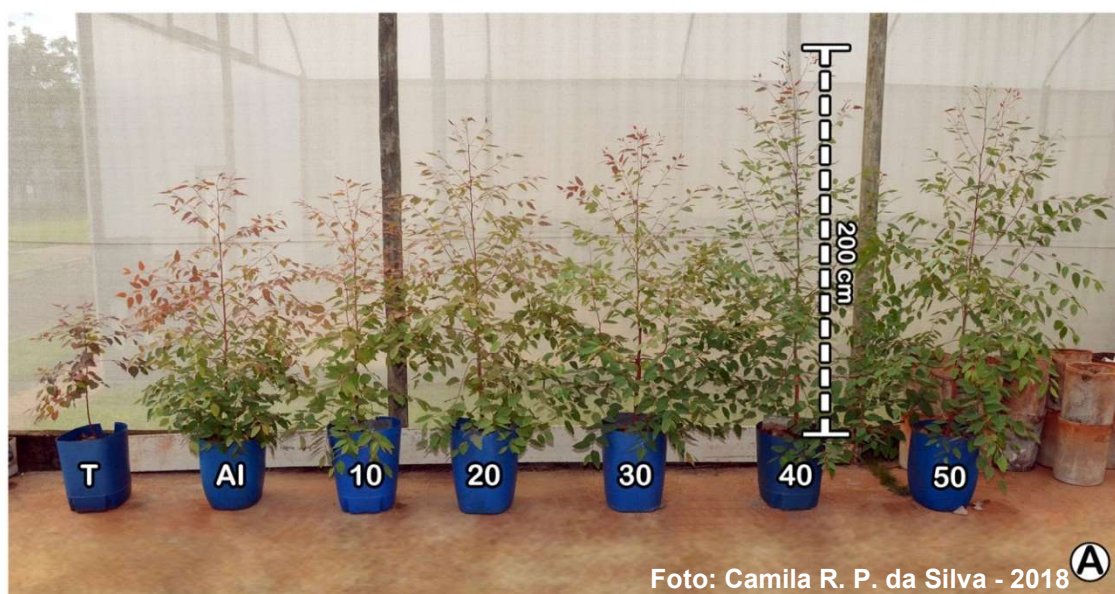


LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Embora os dois fertilizantes orgânicos tenham proporcionado às plantas maior crescimento em altura em relação à adubação inorgânica, a fertilização com composto de lodo permitiu, com uma dose menor, que o eucalipto alcançasse maiores alturas em relação à aplicação do lodo de esgoto no solo, uma vez que as plantas precisaram de 30 Mg ha⁻¹ de composto de lodo para atingir 200 cm, o que, para o lodo foi possível na dose 40 Mg ha⁻¹. Isso pode ser explicado pelo fato da compostagem proporcionar a digestão da matéria orgânica por microorganismos, promovendo a liberação de

nutrientes como N, P, K, Ca e Mg, transformando-os em nutrientes minerais, de modo que eles deixem de estar imobilizados na forma orgânica e tornem-se disponíveis para as plantas num processo chamado de mineralização (AQUINO, 2005).

Figura 7 - Foto das parcelas mais representativas dos tratamentos, ao final do experimento (seis meses após plantio) com eucalipto

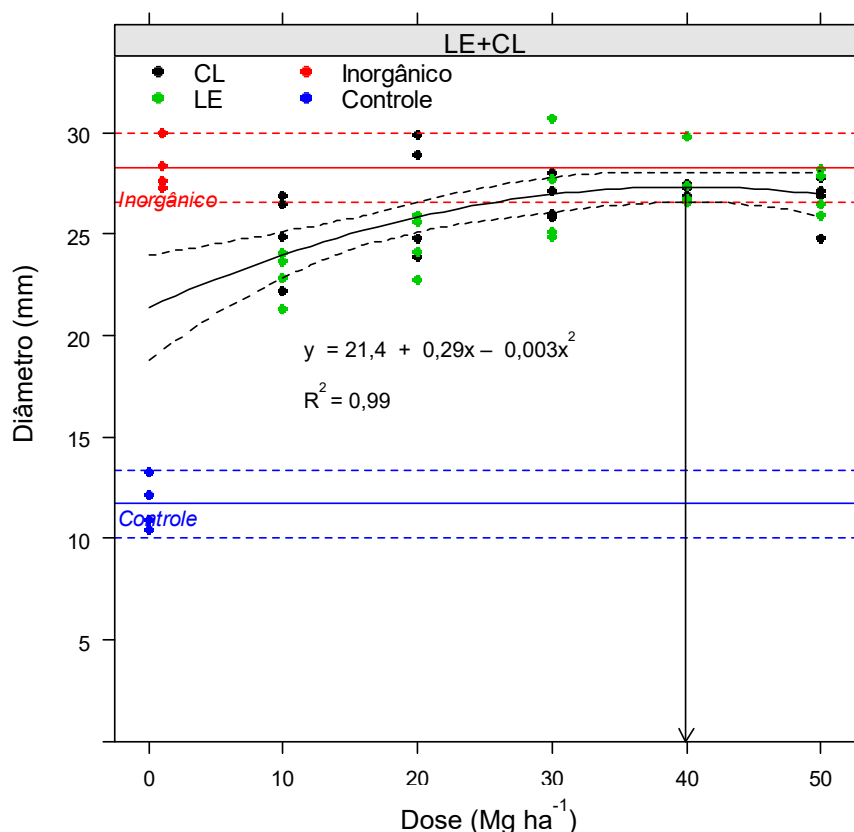


A) Parcelas dos tratamentos com lodo de esgoto, sendo T = tratamento controle, AI = adubação inorgânica, e, em sequência, as doses crescentes, em Mg ha^{-1} , de lodo aplicadas. B) Parcelas dos tratamentos com composto de lodo, sendo T = tratamento controle, AI = adubação inorgânica, e, em sequência, as doses crescentes, em Mg ha^{-1} , de composto aplicadas. A parcela mais representativa do composto de lodo foi a da dose de 50 Mg ha^{-1} , porém, optou-se por apresentar a parcela da dose de 40 Mg ha^{-1} para poder comparar com o lodo puro, em que as plantas apresentaram maior altura nessa dose.

Através da Figura 7 é possível observar as diferenças de altura das plantas entre as doses e entre os tipos de lodo.

O perfil médio de resposta do diâmetro do eucalipto nas doses de composto de lodo e de lodo de esgoto não apresentou diferenças significativas, mostrando que o comportamento das plantas foi considerado o mesmo, permitindo estimar um modelo de resposta média para o fertilizante orgânico com lodo, independente de seu tipo (compostado ou não). Verificou-se o perfil de resposta média do diâmetro aumentando até a dose de 40 Mg ha⁻¹, apresentando uma tendência sutil à queda na maior dose. A quantidade de fertilizante orgânico com lodo que promoveu maior diâmetro na planta, 28 mm, foi aproximadamente igual a 40 Mg ha⁻¹, enquanto a adubação inorgânica apresentou um diâmetro médio igual a 28 mm e o controle igual a 12 mm (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Diâmetro do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Toledo (2013; não publicado), que também avaliou, em condição de vasos, o desenvolvimento inicial do eucalipto em doses crescentes de lodo de esgoto compostado (0 a 25 t ha⁻¹) em comparação à adubação inorgânica, observou, em oito meses de experimento, que a maior altura das plantas foi de 77 cm e o maior diâmetro foi de 16 mm, sendo valores inferiores ao da adubação inorgânica e proporcionados pela maior dose de aplicação de composto. Esses resultados foram muito inferiores aos obtidos neste trabalho, evidenciando que, quando usado em quantidades adequadas, o composto de lodo promove resultados de altura e diâmetro melhores ou iguais à adubação inorgânica.

Ao observar a Tabela 6, verifica-se que as variáveis massa de matéria seca da folha (MMSF), galho (MMSG), caule (MMSC) e raiz (MMSR) não apresentaram interação significativa entre os tipos de fertilizante orgânico e as doses ($p=0,939$, $p=0,313$, $p=0,678$ e $p=0,07$, respectivamente), no entanto, apresentaram efeitos significativos nas doses ($p<0,001$) e na comparação entre os adubos orgânicos e os tratamentos adicionais (controle e adubação inorgânica), com $p<0,001$ para todas as variáveis. Com exceção da massa de matéria seca da raiz ($p=0,918$), as outras variáveis também apresentaram médias significativamente diferentes entre os tipos de fertilizantes orgânicos com lodo ($p<0,001$ para MMSF, MMSG e $p=0,003$ para MMSC). Ou seja, a partir desses resultados e dos testes de comparações múltiplas, verificou-se que MMSF, MMSG, MMSC e MMSR apresentaram respostas médias diferentes em relação à adubação inorgânica e ao controle e que os perfis médios de resposta da MMSF, MMSC e MMSG, nas diferentes doses do composto e do lodo de esgoto, foram paralelos e diferentes, enquanto na MMSR, os perfis médios foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com fertilizante orgânico usando lodo.

Ao analisar o desvio padrão das variáveis apresentadas na Tabela 6, observa-se que o desvio da MMSR é consideravelmente maior que das outras partes da planta. Isso pode ser explicado devido ao complexo processo de lavagem das raízes, que acaba dificultando o padrão de coleta das mesmas, de modo que, em alguns tratamentos, parte das raízes seja perdida ou o solo não seja eliminado por completo durante o processo, proporcionando maior variabilidade dos resultados dessa variável. Também é possível observar que há uma tendência do aumento do desvio padrão de acordo com o aumento das doses. Como o experimento foi realizado em

vaso, a mistura do solo com o resíduo torna-se mais difícil quando se aplica grandes quantidades desse material, fazendo com que ele fique mais “diluído” em alguns vasos e mais “concentrado” em outros, aumentando, assim, a variabilidade dos dados.

Tabela 6 - Massa matéria seca de cada parte da planta (folha, galho, caule e raiz) do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

MMSF		MMSG		MMSC		MMSR		MMST		
----- g planta ⁻¹ -----										
Controle	45,0 b (3,1)		8,5 d (1,4)		16,3 d (3,1)		51,8 c (14,8)		121,6 d (16,2)	
Adubo Inorgânico	191,9 a (14,6)		72,6 c (6,2)		113,2 c (17,7)		220,9 b (15,3)		598,6 c (34,1)	
LE	203,7 a (35,4)		96,8 b (28,1)		129,5 b (28,1)		284,7 a (36,3)		711,6 b (134,4)	
CL	218,1 a (37,6)		111,1 a (34,3)		149,1 a (29,8)		285,7 a (60,5)		758,2 a (116,5)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	152,9 (9,73)	160,3 (13,9)	53,3 (3,5)	60,6 (4,55)	95,8 (7,5)	107,7 (8,9)	249,0 (9,8)	204,2 (25,4)	506,2 (19,1)	577,7 (21,9)
20 Mg ha ⁻¹	192,0 (4,45)	211,6 (9,9)	83,4 (8,1)	93,8 (7,14)	125,6 (17,5)	137,2 (27,6)	274,6 (33,7)	252,1 (19,0)	653,1 (36,9)	717,2 (28,8)
30 Mg ha ⁻¹	208,5 (14,9)	220,5 (20,84)	101,2 (9,2)	112,0 (13,8)	128,2 (11,5)	160,2 (11,7)	298,3 (39,6)	306,1 (45,8)	743,93 (22,5)	790,9 (56,4)
40 Mg ha ⁻¹	233,1 (29,3)	245,1 (10,4)	121,1 (9,3)	139,3 (7,7)	155,2 (27,5)	167,6 (21,8)	308,3 (25,2)	342,7 (31,4)	852,1 (83,6)	836,3 (39,9)
50 Mg ha ⁻¹	231,8 (29,9)	253,0 (31,7)	125,2 (9,6)	149,9 (16,1)	142,9 (33,3)	172,8 (18,5)	293,2 (44,4)	323,5 (43,7)	802,9 (74,7)	868,9 (91,01)
CV%	9,2		12,4		18,9		31,4		9,2	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO* e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo); MMSF (massa de matéria seca folha); MMSG (massa de matéria seca galho); MMSC (massa de matéria seca caule); MMSR (massa de matéria seca raiz); MMST (massa de matéria seca total). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

O composto de lodo proporcionou resultados de massa de matéria seca média significativamente maiores que o lodo de esgoto, em toda a parte aérea da planta, o que não ocorreu com a massa seca da raiz, a qual apresentou médias significativamente iguais para os dois tipos de fertilizante orgânico (Tabela 6). Com exceção da MMSF, em que o lodo promoveu produção média de massa de matéria seca semelhante à adubação inorgânica, a produção de massa de matéria seca, em todas as partes das plantas, foi significativamente maior quando houve adubação com um dos dois tipos de adubo orgânico, em comparação aos dois tratamentos adicionais.

Quando observada a produção de massa de matéria seca de cada compartimento das plantas, notou-se que houve maior produção de folhas e raízes. Normalmente, um grande número de folhas é um bom indicador de um bom suprimento de água e nutrientes para a planta (FISCHESSER, 2007), os quais são absorvidos pelas raízes. Então, tanto a adubação com lodo de esgoto como a com composto de lodo possibilitou que as plantas produzissem, em sua fase inicial de desenvolvimento, estruturas fotossintéticas e raízes em quantidades suficientes para seu estabelecimento e início de desenvolvimento.

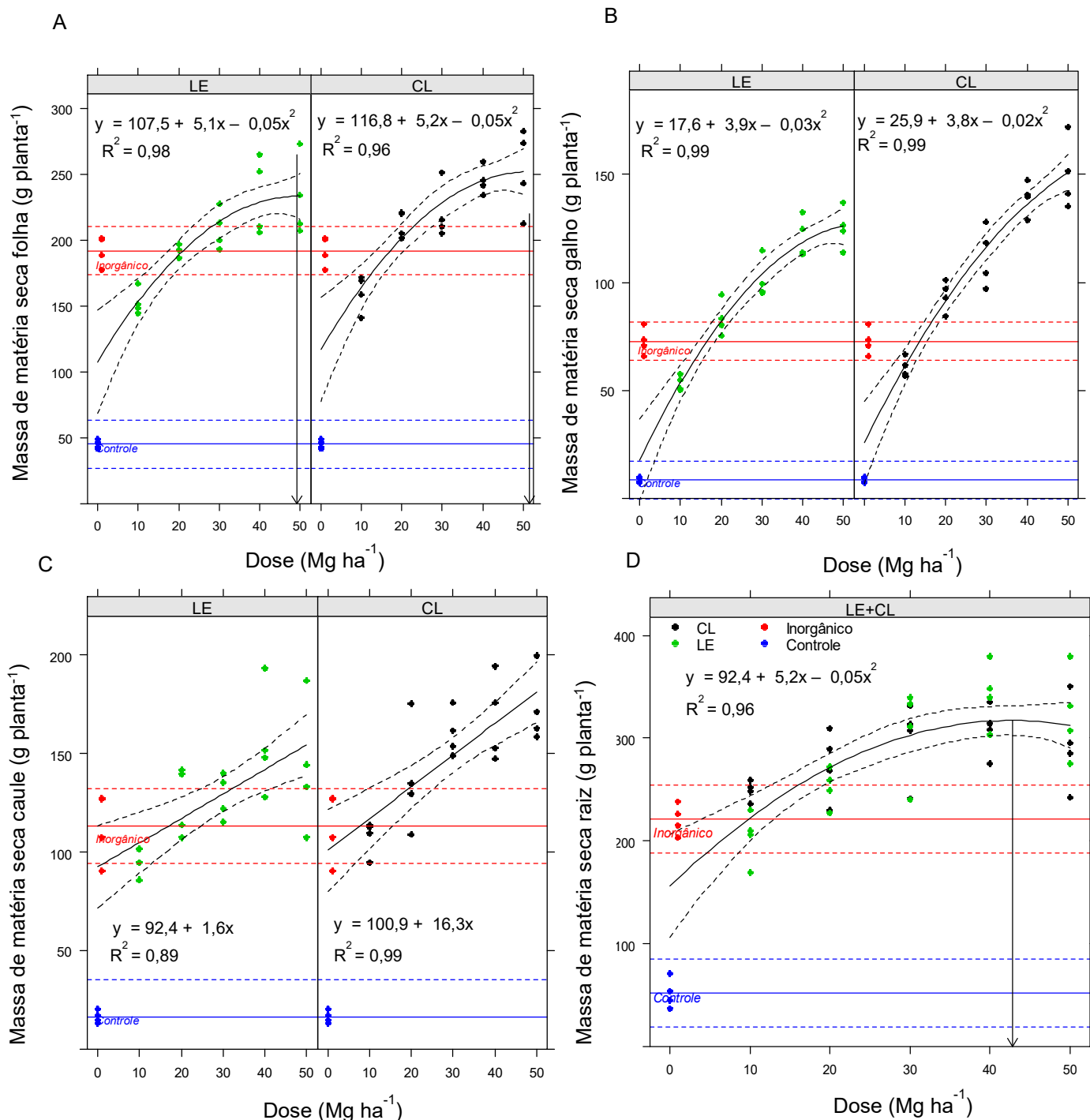
Ao avaliar o efeito significativo das doses, através dos modelos de regressão polinomial, nas respostas médias da produção de MMSF, MMSG, MMSC, MMSR (Gráfico 3), observou-se que, de modo geral, as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de ambos os fertilizantes orgânicos diferiram da adubação inorgânica e controle e proporcionaram as maiores médias de massa de matéria seca em todas as partes das plantas. A dose de composto que promoveu produção média máxima de massa de matéria seca de folha e galho foi de 51,6 e 73,4 Mg ha⁻¹ (Gráficos 3A e 3B), respectivamente. A dose de lodo de esgoto que promoveu maior produção média de massa de matéria seca desses dois órgãos da planta foi de 49,1 e 55,6 Mg ha⁻¹ (Gráficos 3A e 3B) para folha e galho, respectivamente. Nota-se que algumas dessas doses são estimadas, uma vez que a maior quantia de lodo usada no experimento foi de 50 Mg ha⁻¹. É importante observar que a dose de lodo de esgoto que proporcionou máxima produção de massa de matéria seca de folha e galho foi menor que a de composto de lodo, contudo, a quantidade média máxima de massa de matéria seca de folha e galho proporcionada por essa dose foi menor que a proporcionada pela

dose do resíduo compostado, mostrando que compensa aplicar o composto, mesmo que precise usar um pouco mais desse produto para obter maior produção média de folhas e galhos nas plantas.

A produção média de massa de matéria seca do caule foi linear em relação às doses, ou seja, aumentou de acordo com o aumento das doses, havendo maior produção de caule na aplicação de composto de lodo (Gráfico 3C). Em relação às raízes, como o perfil médio nas doses crescentes de composto e de lodo de esgoto não apresentou diferença significativa, mostrando que o comportamento da planta foi o mesmo, foi possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico usando lodo, independente de seu tipo (compostado ou não). Esse modelo mostrou que a dose ideal para a maior produção média de massa de matéria seca de raiz é 43 Mg ha^{-1} , independente de ser utilizado o composto de lodo ou o lodo de esgoto (Gráfico 3D).

Nota-se que a produção de massa de matéria seca das folhas, galhos e raízes apresentaram uma tendência sutil à queda após a dose de 50 Mg ha^{-1} nas folhas e galhos e após a dose 43 Mg ha^{-1} nas raízes. Essa queda está relacionada com a também queda sutil na quantidade de Ca nesses compartimentos das plantas e será esclarecido no tópico 4.3, que trata da nutrição das plantas.

Gráfico 3 - Massa de matéria seca folha (A), galho (B), caule (C) e raiz (D) do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Bertolazi et al. (2017) observaram a massa de matéria seca da parte aérea e raízes de eucaliptos adubados com lodo de esgoto compostado (75% do volume de vasos de 11 L com composto de lodo de esgoto), após 75 dias de cultivo, foi estatisticamente igual ao da adubação inorgânica, diferente do que ocorre neste trabalho (com exceção da massa de matéria seca das folhas que foi igual a adubação inorgânica) com as plantas em estágio mais avançado de desenvolvimento, evidenciando que apesar de num primeiro momento a massa de matéria seca desses compartimentos das plantas ser igual ao da fertilização inorgânica, num segundo momento, com as plantas mais desenvolvidas e com mais tempo para terem absorvido nutrientes, isso pode mudar.

Leite (2012), ao estudar o desenvolvimento inicial do eucalipto após aplicação de 20 t ha⁻¹ de lodo compostado misturado com 15 t ha⁻¹ de cinza de madeira, sob condições de vaso, durante seis meses, observou massa de matéria seca de folha, galho, caule, raiz e total de 106 g, 44 g, 74 g, 380 g e 453 g, respectivamente. Esses valores são consideravelmente menores que os apresentados neste trabalho (Tabela 6), na mesma dosagem de composto, representando a metade, no caso das folhas (212 g) e dos galhos (94 g) de plantas adubadas com lodo compostado. Leite (2012) atribuiu os valores que encontrou a não liberação dos nutrientes às plantas no tempo em que o estudo foi desenvolvido. Porém, o tempo que essa autora usou foi o mesmo utilizado nesta pesquisa, assim como o local de plantio (vasos de 50 L), indicando que a diferença obtida entre os valores de massa de matéria seca dos dois trabalhos pode ter ocorrido devido à composição do composto utilizado, que no caso de Leite (2012) foi feito usando materiais celulósicos diversos, provenientes de podas urbanas trituradas, bagaço de cana, massa residual de celulose de fábrica de papel, entre outros produtos, enquanto aqui foi feito apenas com cascas de eucalipto. É importante ressaltar que a dose 20 Mg ha⁻¹ de composto de lodo com casca de eucalipto, mesmo disponibilizando mais nutrientes que o outro composto em questão, promoveu produção de massa de matéria seca maior que a adubação inorgânica apenas nos galhos.

Ao comparar a produção de massa de matéria seca de cada parte da planta (Tabela 6), foi possível observar que as maiores produções ocorreram nas folhas e raízes, sendo a raiz o órgão que apresentou maior produção de massa de matéria seca. Isso ocorreu, provavelmente, devido à estratégia da própria planta de se fixar

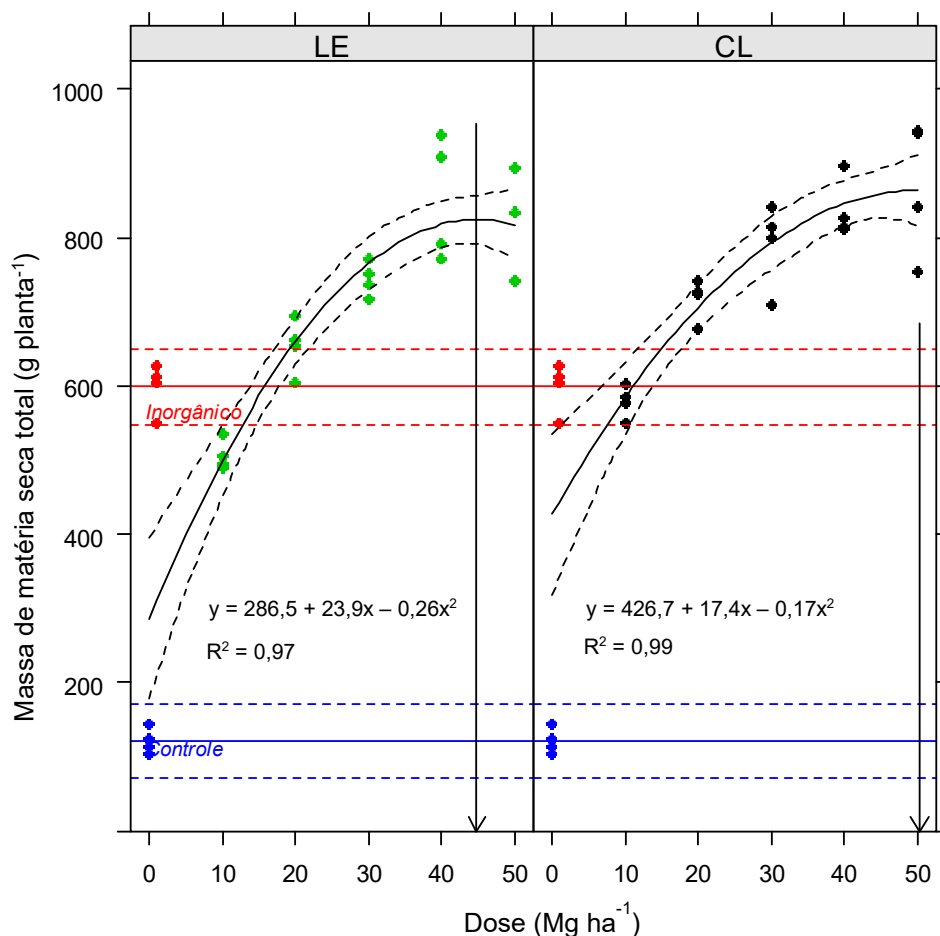
na fase inicial de crescimento, melhorando as chances de sobrevivências (GONÇALVES; BENEDETTI, 2000).

Ao tratar apenas da massa de matéria seca total, que é a soma da produção de massa de matéria seca de todas as partes das plantas, observou-se que não houve interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p=0,410$) para essa variável, enquanto houve diferenças significativas entre os adubos orgânicos ($p=0,006$), entre os tratamentos orgânicos e os tratamentos adicionais ($p<0,001$) e entre as doses ($p<0,001$). Assim, a partir desses resultados e dos testes de comparações múltiplas, verificou-se que os perfis médios de resposta da massa de matéria seca total, nas diferentes doses do composto de lodo e do lodo de esgoto, foram paralelos e diferentes e apresentaram respostas médias diferentes em relação à adubação inorgânica e ao controle.

A maior produção média de massa de matéria seca total das plantas foi observada na adubação com composto de lodo (758 g), porém, os dois tipos de fertilizante com lodo possibilitaram a produção de massa seca total significativamente maior em relação à fertilização inorgânica e controle (Tabela 6).

Ao considerar o efeito significativo das doses, através dos modelos de regressão polinomial, nas respostas médias da produção de massa de matéria seca total, a dose de 50 Mg ha⁻¹ de composto de lodo foi a que proporcionou maior produção de massa de matéria seca total das plantas (869 g) (Gráfico 4), sendo 270 g a mais que a adubação inorgânica e 747 g a mais que o controle. A dose de 45 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto promoveu a maior produção de massa de matéria seca para esse tipo de fertilizante orgânico (852 g), sendo apenas 17 g a menos que a massa de matéria seca máxima que as plantas conseguiram produzir. A dose de 10 Mg ha⁻¹ foi a única que não superou a adubação inorgânica em relação à produção de massa seca de matéria total, sendo a de composto significativamente igual (578 g) e a de lodo significativamente menor (506 g) que a adubação inorgânica (599 g).

Gráfico 4 - Massa de matéria seca total do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

O incremento da massa de matéria seca promovido pela fertilização orgânica deve-se ao aumento de nutrientes no solo, o qual tem sua estrutura melhorada devido ao efeito promovido pela matéria orgânica (COSTA et al., 2001), a qual aumenta a CTC, por conta das cargas negativas presentes em sua composição, ampliando, assim, o “reservatório nutricional” do solo (AFÁZ et al., 2017).

Em relação ao índice de cor verde e a área foliar, a análise de variância mostrou que não houve interação significativa entre os fatores fertilizante orgânico e dose ($p=0,274$ e $p=0,938$, respectivamente) e não houve diferença significativa entre os tipos de adubo orgânico ($p=0,313$ e $p=0,511$, respectivamente). Porém, os resultados foram significativos no efeito dose ($p<0,001$ para as duas variáveis) e na diferença entre os fertilizantes orgânicos e os tratamentos adicionais ($p=0,02$ para

índice de cor verde e $p < 0,002$ para área foliar). Então, a partir desses resultados e dos testes de comparações múltiplas, verificou-se que os perfis médios de resposta do índice de cor verde e da área foliar, nas diferentes doses do composto e do lodo, foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com o fertilizante orgânico com lodo, porém, com diferenças significativas em relação à adubação inorgânica e controle.

Embora a ANOVA tenha indicado diferença entre os lodos e os tratamentos adicionais para o índice de cor verde, os testes de Tukey mostraram que, considerando as médias de adubação, o IVC médio dos tratamentos foram significativamente iguais (Tabela 7).

Tabela 7 - Índice de cor verde e área foliar do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	ICV		AF cm ²	
Controle	33,3 a (2,2)		3773,8 b (161,4)	
Adubo Inorgânico	32,6 a (5,0)		21661,5 a (4522,7)	
LE	38,0 a (6,8)		22548,3 (5346,1)	
CL	35,9 a (5,7)		24478,2 a (6359,6)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	26,1 (2,8)	27,4 (1,9)	15143,5 (627,2)	15606,6 (576,4)
20 Mg ha ⁻¹	29,8 (2,5)	33,5 (1,9)	20253,2 (742,2)	20518,4 (3340,18)
30 Mg ha ⁻¹	35,5 (2,3)	37,3 (2,8)	23878,4 (1769,2)	26136,0 (4324,0)
40 Mg ha ⁻¹	42,2 (1,0)	40,2 (1,0)	29685,2 (2727,9)	29011,6 (1858,6)
50 Mg ha ⁻¹	41,5 (0,9)	41,1 (4,5)	23781,1 a (2917,1)	31118,5 (3324,03)
CV%:	7,7		10,5	
FV:	<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>	
	<i>FO^{ns} e D*</i>		<i>FO^{ns} e D*</i>	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo); ICV (índice de cor verde); AF (área foliar). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses. Houve transformação dos dados para análise de variância da variável AF, porém, os valores apresentados na tabela foram obtidos a partir dos dados originais.

O valor do ICV nas plantas controle foi inesperado, uma vez que, considerando as médias da adubação, ficou muito próximo das plantas que receberam fertilização. As parcelas dos tratamentos controle apresentaram coloração vermelha

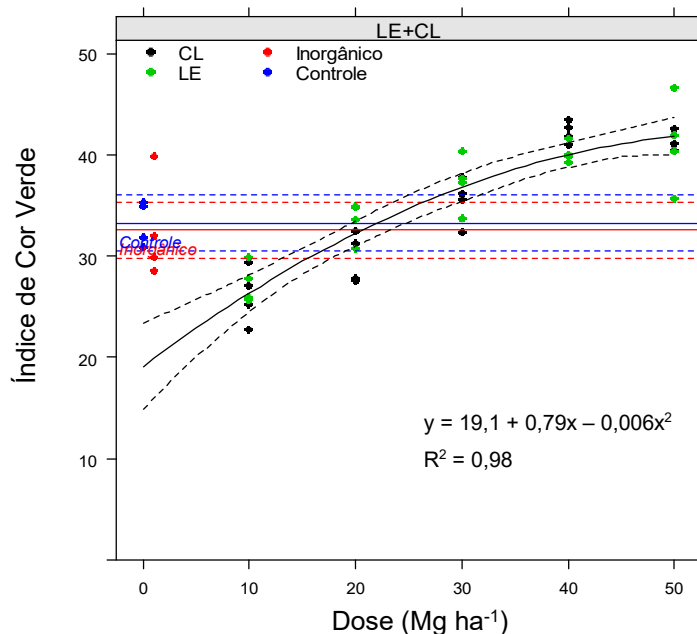
arroxeadas, algo comum ao eucalipto e que, a princípio, pode dar a impressão de haver menos clorofila nessas plantas. Porém, a cor apresentada no mesofilo foliar é apenas a reflexão da cor vermelha arroxeadas e o SPAD mede a quantidade de cor verde presente na clorofila a e não no mesofilo. As folhas das parcelas desse tratamento eram mais espessas que as folhas das parcelas que receberam adubação, demonstrando uma possível concentração de nutrientes em razão do baixo desenvolvimento das plantas. Então, considerando que houve concentração de N nas folhas dessas parcelas, é possível justificar os valores elevados do índice de cor verde no controle. Na Figura 8, é possível observar a coloração das folhas de uma parcela do tratamento sem adubação.

Figura 8 - Foto demonstrativa da parcela do tratamento controle apresentando coloração foliar arroxeadas



Por conta do perfil médio do ICV nas doses crescentes de composto de lodo e de lodo de esgoto não apresentar diferenças significativas, mostrando que o comportamento das plantas foi considerado o mesmo, foi possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com lodo, independente de seu tipo (compostado ou não). Através desse modelo (Gráfico 5) notou-se que houve aumento do ICV de acordo com as doses crescentes do fertilizante orgânico com lodo e que a dose de 40 Mg ha⁻¹ de composto foi a que proporcionou maior valor desse índice (42,2), o qual é 10 unidades maior que a adubação inorgânica. Isso mostra que, ao serem analisadas independentes das doses, as médias dos dois fertilizantes orgânicos foram estatisticamente iguais às dos tratamentos adicionais. Todavia, quando analisadas sob o efeito da dose, observou-se diferenças numéricas entre as médias desses fertilizantes e do controle e adubação inorgânica, ao passo que a dose de 40 Mg ha⁻¹ de qualquer uma das adubações orgânicas pôde ser considerada significativamente diferente desses dois tratamentos. O modelo estimou que o máximo ICV fosse obtido na dose de 59 Mg ha⁻¹ de qualquer um dos fertilizantes orgânicos com lodo.

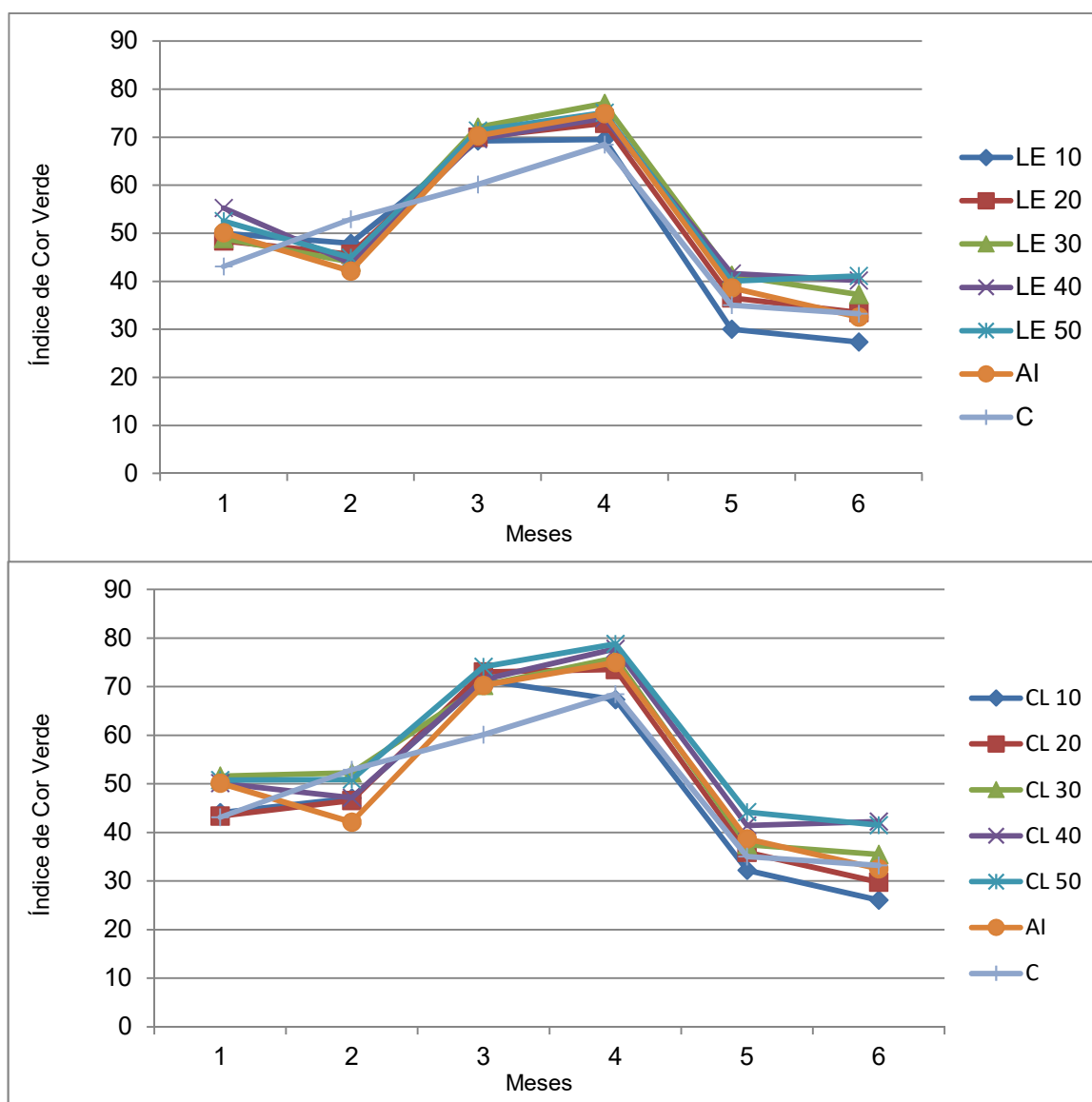
Gráfico 5 - Índice de cor verde do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao analisar o comportamento do ICV durante o experimento, observou-se que, em todos os tratamentos, houve um aumento dos valores desse índice nos primeiros meses, havendo um decréscimo até a finalização do experimento (Gráfico 6). Considerando que o índice de cor verde, determinado pelo medidor indireto da clorofila SPAD, possui correlação positiva com o teor de N na folha, pôde-se concluir que o aumento desse índice logo após o plantio ocorre devido à demanda nutricional exigida pela planta no início de seu desenvolvimento, e a queda, após os primeiros meses, acontece devido à mobilização do N através dos drenos. Esse comportamento também foi observado por Malavolta et al. (2004), em estudo com algodão.

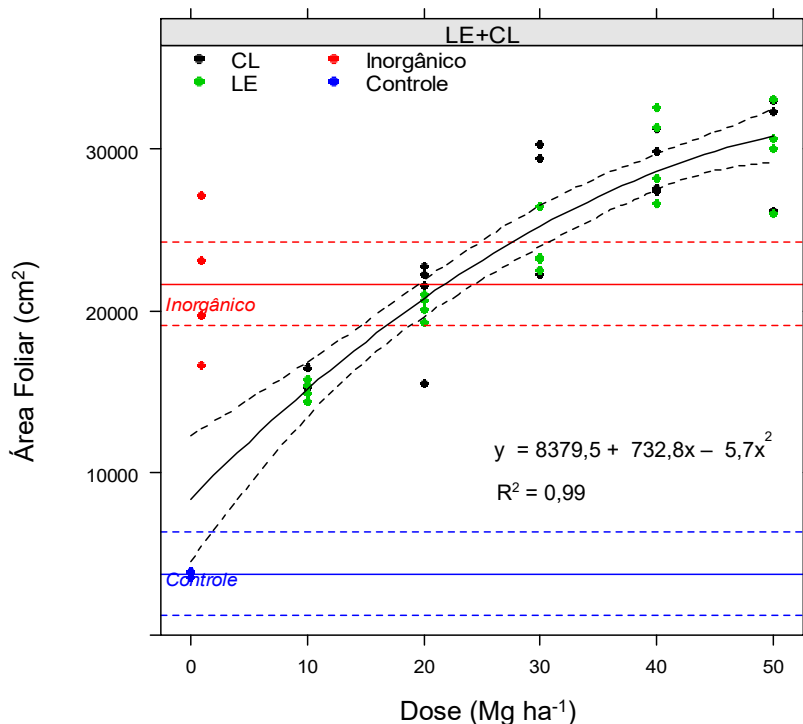
Gráfico 6 - Medições de índice de cor verde, mês a mês, durante os seis meses de experimento



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo); AI (adubação inorgânica); C (controle).

O mesmo padrão observado no ICV nas doses também pôde ser constatado na área foliar, a qual além de apresentar o perfil médio sem diferenças estatísticas entre os fertilizantes orgânicos avaliados e permitir estimar um modelo de resposta média para a adubação com lodo, independente de ser o compostado ou não, também apresentou valores significativamente iguais entre os adubos com lodo e adubação inorgânica quando consideradas apenas as adubações. Ao verificar as doses, foi possível notar que as maiores doses de ambos os adubos orgânicos promoveram maior área foliar média, que foi consideravelmente maior que a promovida pela adubação inorgânica (Gráfico 7). O aumento da área foliar com o aumento de doses de lodo de esgoto compostado também foi constatado por Toledo (2013; não publicado), indicando que as maiores doses de resíduos fornecem maiores quantidades de nutrientes às plantas, que, se manejadas corretamente, conseguem absorver esses nutrientes. A dose que as plantas atingiram a máxima área foliar foi a de 50 Mg ha⁻¹ de composto de lodo, com 31119 cm² (Tabela 7).

Gráfico 7 - Área foliar do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

De modo geral, a contribuição das doses de ambos os fertilizantes orgânicos para as variáveis biométricas das plantas foi positiva. Os dois adubos orgânicos promoveram maior altura, produção de massa seca, índice de cor verde e área foliar em relação à adubação inorgânica, nas maiores doses de resíduo aplicadas. O diâmetro das plantas foi a única variável que não superou a fertilização inorgânica quando elas foram adubadas com os dois fertilizantes com lodo, porém, ele igualou-se à adubação inorgânica, quando aplicadas as maiores doses de adubo orgânico, indicando que a mesma pode ser substituída pela fertilização orgânica, pois o resultado em relação ao diâmetro será o mesmo.

Portanto, o acréscimo de doses de lodo de esgoto e de composto de lodo promoveu variáveis biométricas iguais ou melhores que as promovidos pela adubação inorgânica, sendo as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ as que apresentaram os melhores resultados, os quais, em sua maioria, foram melhores que a adubação inorgânica.

4.2 Fertilidade do Solo

Ao final do experimento, foi realizada a análise de solo de cada parcela com finalidade de demonstrar a contribuição dos tratamentos na fertilidade do solo.

Considerando os resultados da análise de variância e dos testes de comparações múltiplas, observou-se que a soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) apresentaram interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p < 0,001$ para os dois), enquanto pH, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC) não ($p = 0,639$, $p = 0,118$, $p = 0,101$ e $p = 0,139$, respectivamente). Ou seja, os valores de pH, MO, H+Al e CTC seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto de lodo, enquanto os valores de SB e V% variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado. Apenas esses últimos parâmetros apresentaram diferença entre os fertilizantes orgânicos com lodo ($p < 0,001$ para os dois), enquanto os outros não ($p = 0,06$ para pH, $p = 0,216$ para MO, $p = 0,882$ para H+Al e $p = 0,339$ para CTC), e, somente o V% não apresentou diferença em relação aos tratamentos adicionais ($p = 0,394$ para V%, $p < 0,001$ para pH, H+Al, CTC, SB e $p = 0,01$ para MO). Em relação às doses a CTC ($p < 0,001$) apresentou diferença entre elas, ao passo que o pH ($p = 0,108$), a matéria orgânica ($p = 0,739$) e a acidez potencial ($p = 0,101$) não.

Ao observar a Tabela 8, nota-se que, considerando os valores médios, os dois tipos de fertilizante orgânico promoveram maior acidez potencial do solo em relação aos tratamentos adicionais, favorecendo a acidificação do solo e, assim, menores valores de pH. Também é possível notar, quando comparado com a Tabela 1, que houve incremento de MO no solo, principalmente nas maiores doses do composto, o qual, ao considerar as médias, apresentou quantidade de MO maior que o tratamento controle. Porém, a quantidade de MO promovida pelo lodo de esgoto foi considerada igual ao da adubação inorgânica, tratamentos esses que não puderam ser considerados estatisticamente diferentes da quantidade promovida pelo composto e nem pelo controle.

De acordo com Bayer e Mielniczuc (2008), as temperaturas elevadas das regiões tropicais promovem elevações das taxas dos processos químicos e bioquímicos e consequente aceleração no processo de mineralização da matéria orgânica. Assim, efeitos da aplicação do lodo de esgoto sobre os teores de matéria orgânica do solo têm sido observados com aplicações sucessivas do resíduo (NASCIMENTO et al., 2014), conforme relatado por Bueno et al. (2011) após 7 anos de aplicação de lodo de esgoto no solo. Melo et al. (1994) constataram efeitos significativos, porém temporários, sobre os teores de matéria orgânica do solo, quando aplicadas doses de até 32 t ha⁻¹ de lodo de esgoto. Segundo esses autores, o tempo de residência do carbono orgânico adicionado ao solo via lodo de esgoto é muito curto.

A mineralização da MO presente no lodo pode ter disponibilizado quantidades de N na forma amoniacal, que foi absorvido pelas plantas de eucalipto e resultaram na acidificação do solo, pois de acordo com Marschner e Römheld (1983), a absorção de N-NH₄⁺ promove o efluxo de H⁺. Lobo et al. (2013) verificaram que a acidificação do solo pelo aumento das doses de lodo foi decorrente da mineralização da matéria orgânica e posterior nitrificação, liberando, desta forma, H⁺ para a solução do solo. A diminuição do pH do solo proporcionada pelo aumento de doses de lodo de esgoto sem o tratamento com calcário também foi observada por Boeira et al. (2007) e Trannim et al. (2008). A cultura também pode ter influenciado na diminuição do pH. Em estudo realizado por Oliveira; Braga e Costa (2018) que avaliaram o impacto do cultivo de diferentes espécies de eucalipto nos atributos químicos do solo, em relação

à área de pastagem, observou-se que as espécies de eucalipto estudadas elevaram o teor de matéria orgânica em relação à pastagem e, em decorrência disso, reduziram o pH. Lima (1996) também relatou situações onde houve redução no pH do solo cultivado com eucaliptos em diferentes regiões do globo.

Apesar disso, ambos os lodos proporcionaram valores de CTC maiores que os da adubação inorgânica e tratamento controle (Tabela 8).

Tabela 8 - Valores de pH, matéria orgânica (MO), acidez potencial (H+Al) e capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	pH		MO g dm ⁻³		H+Al ----- mmolc dm ⁻³ -----		CTC	
Controle	3,9 a (0,00)		27,3 b (2,9)		85,5 b (4,4)		89,2 b (4,7)	
Adubo Inorgânico	3,9 ab (0,14)		29,5 ab (2,4)		83,6 b (9,8)		92,6 b (9,3)	
LE	3,7 c (0,12)		31,1 ab (2,6)		118,0 a (13,6)		126,4 a (14,2)	
CL	3,8 bc (0,10)		32,4 a (3,1)		118,5 a (10,1)		129,6 a (12,8)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	3,7 (0,15)	3,7 (0,09)	30,7 (3,4)	37,8 (0,9)	113,3 (5,6)	108,8 (12,8)	117,0 (5,1)	113,3 (12,7)
20 Mg ha ⁻¹	3,6 (0,15)	3,7 (0,12)	32,9 (3,7)	29,6 (2,4)	117,2 (14,8)	122,5 (10,7)	122,9 (14,8)	127,9 (11,2)
30 Mg ha ⁻¹	3,6 (0,12)	3,7 (0,14)	31,0 (0,9)	31,4 (2,9)	121,4 (7,8)	114,2 (17,1)	131,1 (8,3)	121,7 (16,7)
40 Mg ha ⁻¹	3,7 (0,12)	3,9 (0,06)	31,7 (2,7)	34,2 (3,5)	115,5 (11,9)	131,2 (10,9)	133,2 (11,4)	141,6 (9,6)
50 Mg ha ⁻¹	3,8 (0,06)	3,8 (0,05)	29,4 (2,4)	35,0 (3,5)	125,3 (7,8)	113,4 (8,4)	143,5 (6,3)	127,6 (6,4)
CV%:	11,3		9,1		10,6		9,5	
FV:	<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>	
	<i>FO^{ns} e D^{ns}</i>		<i>FO^{ns} e D*</i>		<i>FO^{ns} e D^{ns}</i>		<i>FO^{ns} e D*</i>	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses. Houve transformação dos dados para análise de variância para da variável pH, porém, os valores apresentados na tabela foram obtidos a partir dos dados originais.

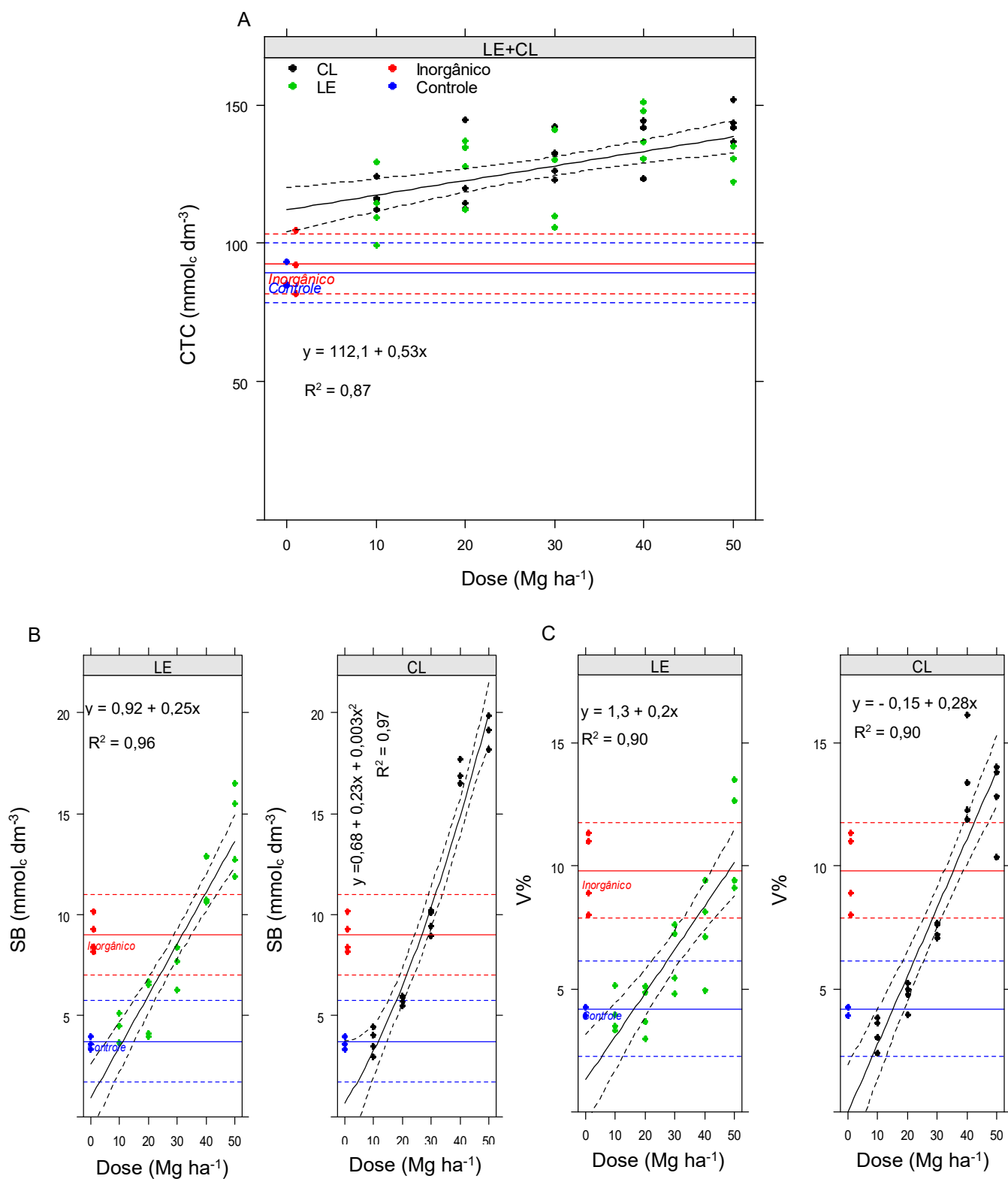
Em relação à Tabela 1, houve aumento da SB do solo nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ dos dois tipos de fertilizante orgânico, sendo que a soma de bases promovida pelo composto de lodo foi maior que a promovida pelo lodo de esgoto e ambas foram maiores que os tratamentos adicionais. Em contrapartida, apesar de essas doses terem apresentado os maiores valores de V%, esses valores foram menores dos que o solo apresentava antes do plantio (Tabela 9).

Tabela 9 - Valores de soma de bases (SB) e da saturação por base (V%) do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

SB					
----- mmol _c dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	3,7 b (0,3)	8,9 a (0,9)	4,4 b (0,6)	3,7 b (0,6)	1,8
20 Mg ha ⁻¹	3,7 c (0,3)	8,9 a (0,9)	5,3 bc (1,5)	5,8 b (0,2)	
30 Mg ha ⁻¹	3,7 c (0,3)	8,9 ab (0,9)	7,5 b (0,9)	9,7 a (0,6)	
40 Mg ha ⁻¹	3,7 d (0,3)	8,9 c (0,9)	11,4 b (1,3)	17,0 a (0,6)	
50 Mg ha ⁻¹	3,7 d (0,3)	8,9 c (0,9)	14,2 b (2,2)	19,1 a (0,8)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd*				
	FO* e D*				
V%					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	4,2 b (0,2)	9,8 a (1,6)	3,9 b (0,8)	3,2 b (0,6)	18,4
20 Mg ha ⁻¹	4,2 b (0,2)	9,8 a (1,6)	4,2 b (1,0)	4,7 b (0,6)	
30 Mg ha ⁻¹	4,2 c (0,2)	9,8 a (1,6)	6,3 bc (1,4)	7,4 ab (0,3)	
40 Mg ha ⁻¹	4,2 c (0,2)	9,8 b (1,6)	7,4 b (1,9)	13,4 a (1,9)	
50 Mg ha ⁻¹	4,2 c (0,2)	9,8 b (1,6)	11,2 ab (2,2)	12,7 a (1,7)	
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd*				
	FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Gráfico 8 - CTC (A), SB (B) e V% (C) do solo, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses crescentes de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Como a CTC, SB e V% apresentaram interação significativa entre as doses, foi possível avaliar, através de modelos de regressão polinomial, o comportamento dessas variáveis em relação às doses. Através do Gráfico 8, nota-se que houve aumento da CTC, SB e V% de acordo com o aumento das doses de fertilizante orgânico aplicadas.

No caso da CTC (Gráfico 8A), ela apresentou-se maior que os tratamentos adicionais em todas as doses de fertilizante orgânico aplicadas, sendo, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de ambos os adubos orgânicos, o dobro da que foi apresentada pelo solo pré-plantio. Lobo et al. (2013) observaram um aumento quadrático na CTC de um solo adubado com lodo de esgoto sem tratamento com calcário. O impacto na qualidade do solo, indicado pela CTC, com a adição do lodo pôde ser evidenciada pelo acréscimo de 28,7 para 44,9 mmol_c dm⁻³ no período de um ano de observação (COLODRO; ESPINDOLA, 2006). Ao usar adubo verde, por exemplo, Alves (2000) observou uma elevação da CTC de 23,2 para 29,19 mmol_c dm⁻³ em um período de avaliação de 6 anos, diferença que pode ser considerada pequena, quando comparada com o efeito do lodo de esgoto nesse parâmetro. Os elevados teores de matéria orgânica contida no lodo de esgoto contribuem para esse aumento na CTC, sendo isso observado por Melo et al. (1994) que utilizaram dose de 32 Mg ha⁻¹.

Apesar da SB (Gráfico 8B) e o V% (Gráfico 8C) terem crescido com o aumento das doses de resíduos aplicadas, seus valores superaram a adubação inorgânica apenas nas maiores doses. No caso da SB, em ambos os fertilizantes orgânicos com lodo e, no caso do V%, no composto, visto que o V% do lodo superou a fertilização inorgânica apenas na dose de 50 Mg ha⁻¹.

Em relação aos macronutrientes presentes no solo, ao final do experimento, houve interação entre fertilizante orgânico e dose para P, K, Ca e Mg ($p < 0,001$ para todos), ou seja, os teores desses nutrientes variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado. Houve também diferença entre os tipos de fertilizante orgânico ($p = 0,004$ para P, e $p < 0,001$ para K, Ca e Mg) e em relação aos tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para P e Ca, $p = 0,004$ para K e $p = 0,002$ para Mg).

Ao avaliar o efeito dos adubos orgânicos com lodo nos macronutrientes do solo, observou-se que a maior contribuição nutricional dos resíduos foi para o P nas

maiores doses de ambos os fertilizantes, mas, principalmente, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ do composto de lodo (Tabela 10), as quais apresentaram valores de P 10 vezes maiores que os do solo pré-plantio. Não houve contribuição dos fertilizantes nas quantidades de K, mesmo com a suplementação desse nutriente, pois as quantidades de K que o solo apresentou ao final do experimento (Tabela 10) foram menores que as apresentadas no início (Tabela 1). Em P, o composto foi maior e diferente do lodo nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, enquanto que em K, essa diferença ocorreu apenas na doses de 40 Mg ha⁻¹.

Tabela 10 - Valores de fósforo e potássio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

P					
----- mmolc dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	4,6 a (0,7)	14,8 a (4,2)	14,9 a (8,2)	13,7 a (1,9)	28
20 Mg ha ⁻¹	4,6 c (0,7)	14,8 bc (4,2)	35,2 a (6,3)	27,4 ab (10,6)	
30 Mg ha ⁻¹	4,6 b (0,7)	14,8 b (4,2)	44,4 a (16,6)	42,8 a (13)	
40 Mg ha ⁻¹	4,6 c (0,7)	14,8 c (4,2)	52,4 a (8)	85,3 b (16)	
50 Mg ha ⁻¹	4,6 c (0,7)	14,8 c (4,2)	45,1 a (11,6)	74,6 b (14,6)	
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				
K					
----- mmolc dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,39 b (0,04)	0,47 b (0,09)	0,67 a (0,04)	0,53 ab (0,07)	16,3
20 Mg ha ⁻¹	0,39 b (0,04)	0,47 ab (0,09)	0,49 ab (0,11)	0,61 a (0,04)	
30 Mg ha ⁻¹	0,39 a (0,04)	0,47 a (0,09)	0,44 a (0,04)	0,54 a (0,12)	
40 Mg ha ⁻¹	0,39 b (0,04)	0,47 b (0,09)	0,32 b (0,04)	0,70 a (0,10)	
50 Mg ha ⁻¹	0,39 a (0,04)	0,47 a (0,09)	0,49 a (0,19)	0,53 a (0,04)	
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Ao tratar do Ca e Mg, houve incremento de Ca nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de ambos os fertilizantes orgânicos, mas, principalmente no composto de lodo, e, no caso do Mg, o incremento foi nessas duas doses de composto e na dose de 50 Mg ha⁻¹ de lodo de esgoto. Em Mg, o composto foi maior e diferente do lodo nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, enquanto que em Ca, essa diferença ocorreu apenas nas doses de 40 Mg ha⁻¹ (Tabela 11).

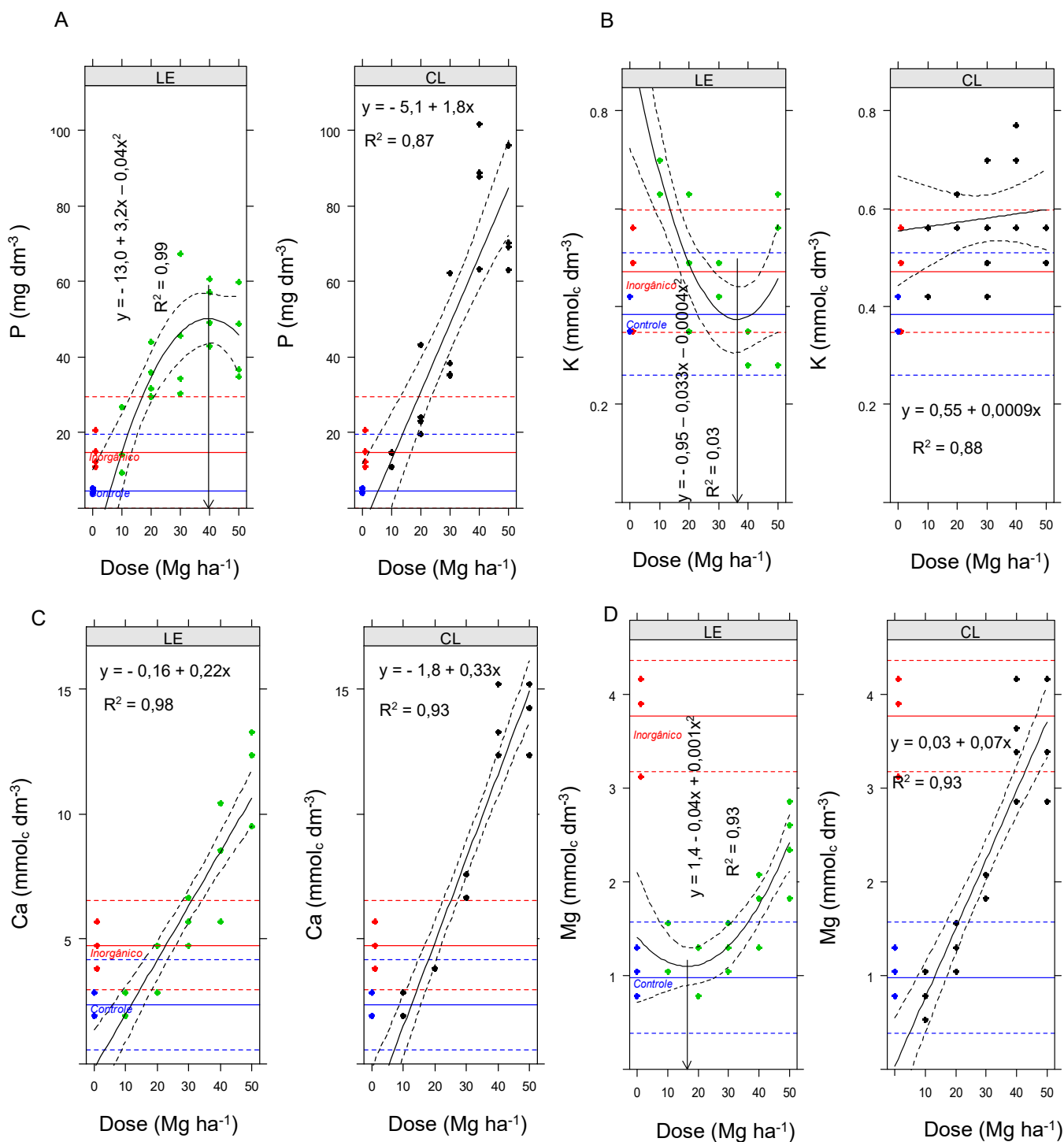
Tabela 11 - Valores de cálcio e magnésio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Ca					
----- mmol _c dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	2,4 b (0,6)	4,8 a (0,8)	2,6 b (0,5)	2,4 b (0,5)	4,9
20 Mg ha ⁻¹	2,4 b (0,6)	4,8 a (0,8)	3,8 a (1,1)	3,8 a (0,0)	
30 Mg ha ⁻¹	2,4 c (0,6)	4,8 b (0,8)	5,7 ab (0,8)	7,1 a (0,5)	
40 Mg ha ⁻¹	2,4 d (0,6)	4,8 c (0,8)	8,3 b (1,9)	13,5 a (1,2)	
50 Mg ha ⁻¹	2,4 c (0,6)	4,8 b (0,8)	11,2 a (1,9)	14,3 a (1,3)	
Modelo	-	-	Linear	Linear	
Significativo					
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				
Mg					
----- mmol _c dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,98 b (0,3)	3,8 a (0,5)	1,2 b (0,3)	0,9 b (0,3)	18
20 Mg ha ⁻¹	0,98 b (0,3)	3,8 a (0,5)	1,04 b (0,3)	1,4 b (0,3)	
30 Mg ha ⁻¹	0,98 c (0,3)	3,8 b (0,5)	1,4 bc (0,3)	2,0 b (0,1)	
40 Mg ha ⁻¹	0,98 c (0,3)	3,8 a (0,5)	1,8 b (0,3)	3,5 a (0,5)	
50 Mg ha ⁻¹	0,98 c (0,3)	3,8 a (0,5)	2,4 b (0,4)	3,5 a (0,5)	
Modelo	-	-	Quadrático	Linear	
Significativo					
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilização Orgânica e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilização Orgânica) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses. Houve transformação dos dados para análise de variância para da variável Ca, porém, os valores apresentados na tabela foram obtidos a partir dos dados originais.

Ao analisar o Gráfico 9, nota-se que o composto de lodo promoveu comportamento linear para P, K, Ca e Mg, enquanto o lodo de esgoto promoveu esse efeito apenas no Ca. Ou seja, os teores dos quatro nutrientes em questão aumentaram de acordo com o acréscimo das doses de composto aplicadas, algo que o lodo promoveu somente para o Ca. O P, quando adubado com lodo, apresentou um decréscimo na dose de 50 Mg ha⁻¹. No caso do K, o aumento das doses promoveu um decréscimo desse nutriente até a dose de 36 Mg ha⁻¹, aumentando nas maiores doses. No caso do Mg, o decréscimo foi até a dose 17 Mg ha⁻¹, aumentando nas doses restantes.

Gráfico 9 - Teor de P (A), K (B), Ca (C) e Mg (D) do solo, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses crescentes de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Dos nutrientes demonstrados no Gráfico 9, apenas o P e Ca apresentaram valores significativamente maiores que a adubação inorgânica, sendo que, para o P, isso aconteceu a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ de composto e 20 Mg ha⁻¹ de lodo e, para o Ca, isso ocorreu a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ de composto e 40 Mg ha⁻¹ de lodo.

O P, geralmente, está presente em grandes quantidades no esgoto sanitário devido às descargas de detergentes superfosfatados empregados em larga escala domesticamente, além da própria matéria fecal, rica em proteína (PIVELI, 2011). O P disponível no solo está diretamente correlacionado com o teor de matéria orgânica quando é feita aplicação de lodo de esgoto (COSTA et al., 2014). Uma vez que o composto apresentava maior quantidade de MO comparado ao lodo de esgoto, ele apresentou maiores teores desse P, no solo, em relação ao lodo que não passou pela compostagem. Lobo et al. (2013) também observaram que o aumento dos níveis de lodo de esgoto proporcionou aumento do P no solo e Colodro e Espindola (2006) observaram um teor de P₂O₅ no solo, para a dose máxima de lodo utilizada, superior em 3,3 vezes ao do fertilizante inorgânico. Outros autores também relataram que a aplicação de lodo de esgoto foi capaz de aumentar o P disponível no solo (SUI; THOMPSON, 2000; BRAMRYD, 2001).

Apesar dos teores de K promovidos pelo composto terem aumentado de acordo com as doses, eles são considerados baixos por Raij e Quaggio (1997). Porém, eles foram estatisticamente iguais aos promovidos pela adubação inorgânica e não foram limitantes para o desenvolvimento inicial das plantas. Em relação ao comportamento apresentado por essa variável no lodo de esgoto, o que pode ter ocorrido é que conforme as doses de lodo aumentaram, as plantas desenvolveram-se mais, absorvendo maiores quantidades de K, por isso, houve queda dos teores desse nutriente, no solo, com o acréscimo das doses. Os valores de K voltaram a subir na maior dose porque ela foi suficiente para proporcionar às plantas as quantidades necessárias desse nutriente e ainda assim manter, no solo, teores de K acima dos apresentados pelas doses de 20, 30 e 40 Mg ha⁻¹ de lodo.

De acordo com Junio et al. (2013), o aumento nas doses de composto de lodo resultou em incremento nos teores de P, K, Ca e S no solo, enquanto os teores de Mg, em razão de sua menor concentração no composto não foram influenciados pela aplicação do resíduo. Lobo et al. (2013) observaram que a adição do lodo de esgoto

não promoveu diferença nos teores de Ca no solo. No caso deste trabalho, ambos os fertilizantes orgânicos com lodo, nas maiores doses, promoveram incrementos de Ca e Mg, porém, esses incrementos foram pequenos, mas, no caso do Ca, suficientes para superar a adubação inorgânica nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo compostado e, no caso do Mg, suficientes para igualar-se à fertilização inorgânica nessas mesmas doses de lodo.

Em relação ao S, Na e Al presentes no solo, ao final do experimento, nenhum desses três elementos apresentou interação entre fertilizante orgânico e dose ($p=0,295$ para S, $p=0,717$ para Na e $p=0,201$ para Al), ou seja, os teores desses componentes seguiram um perfil médio nas diferentes doses de ambos os adubos orgânicos com lodo. Para o S ($p=0,039$) e Na ($p<0,001$) houve diferença entre os tipos de fertilizante, enquanto, para o Al ($p=0,806$), não. Os teores de S ($p<0,001$) e Al ($p<0,001$) apresentaram diferença em relação aos tratamentos adicionais, porém, o teor de Na ($p=0,641$) não. Tanto a concentração de S, como a de Na e de Al apresentaram diferença entre as doses ($p<0,001$).

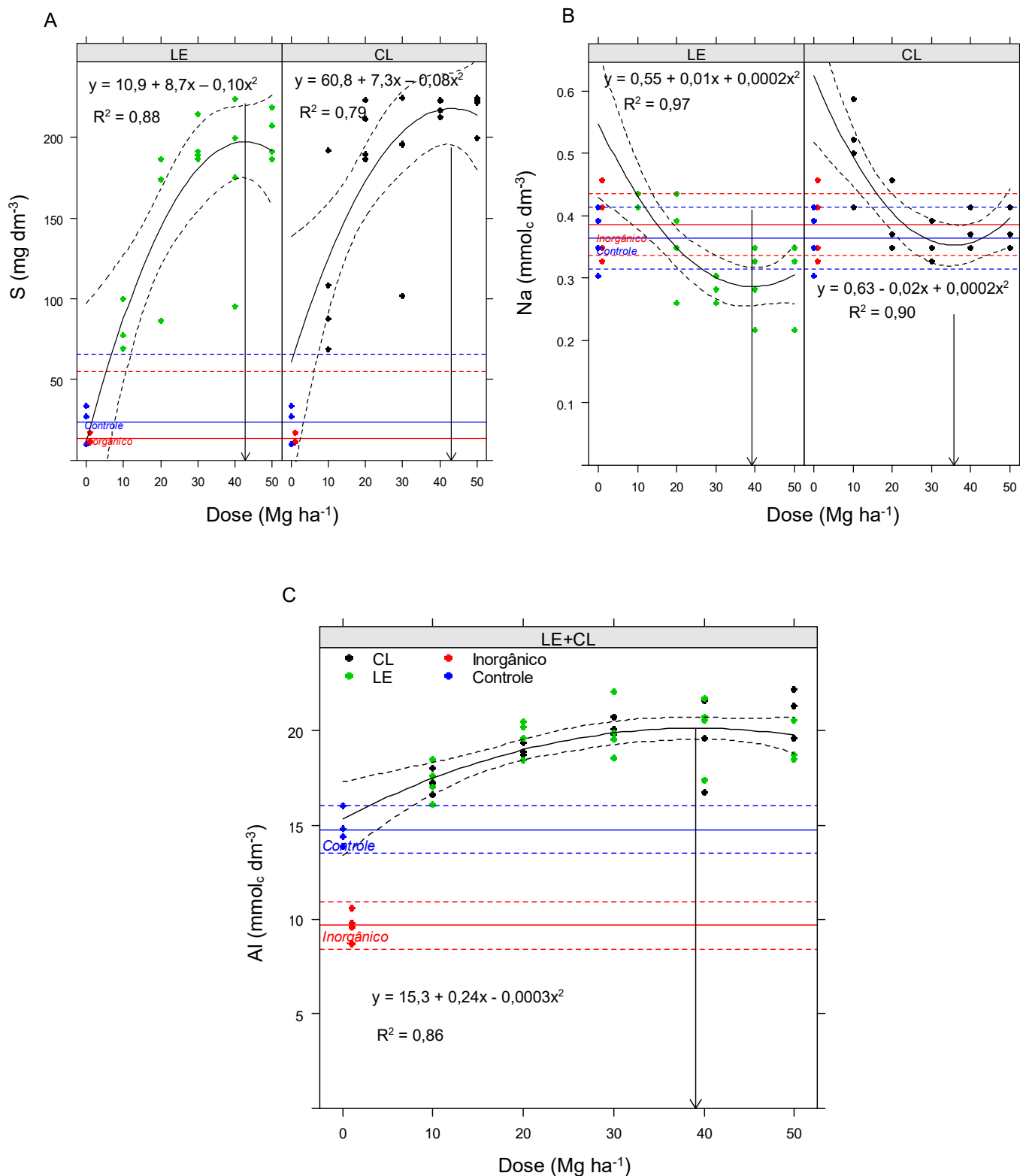
Para esses três elementos, não foi possível ver qual a contribuição dos fertilizantes orgânicos com lodo em relação ao solo do início do experimento, pois eles não estavam inclusos na análise que foi feita. Porém, ao observar a Tabela 12, nota-se que, ao final do experimento, considerando as médias de adubação, as concentrações de S promovidas pelo composto e pelo lodo foram significativamente maiores que as promovidas pelos tratamentos adicionais, sendo consideradas altas por Raij e Quaggio (1997). No caso do Na, o lodo compostado foi o que promoveu maior concentração desse elemento no solo, seguido dos tratamentos adicionais e, por fim, o lodo que não foi compostado. Em relação ao Al, os dois tipos de fertilizante orgânico com lodo promoveram concentrações desse elemento maiores que os tratamentos adicionais, não havendo diferença entre os adubos orgânicos.

Tabela 12 - Valores de enxofre, sódio e alumínio do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	S		Na		Al	
	mg dm ⁻³		mmolc dm ⁻³			
Controle	23,7 b (12,2)		0,36 ab (0,05)		14,8 b (0,9)	
Adubo Inorgânico	13,4 b (3,1)		0,39 ab (0,06)		9,7 c (0,8)	
LE	165,2 a (52,7)		0,33 b (0,07)		19,3 a (1,6)	
CL	186,4 a (50,7)		0,40 a (0,07)		19,2 a (1,7)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	82,3 (16,0)	114,1 (54,3)	0,43 (0,01)	0,51 (0,07)	17,3 (1,0)	17,3 (0,6)
20 Mg ha ⁻¹	149,1 (54,7)	202,7 (17,7)	0,36 (0,07)	0,38 (0,05)	19,6 (0,9)	18,8 (0,4)
30 Mg ha ⁻¹	195,3 (17,8)	179,4 (53,3)	0,29 (0,02)	0,36 (0,03)	20,0 (1,5)	20,3 (0,4)
40 Mg ha ⁻¹	173,5 (55,7)	218,8 (5,1)	0,29 (0,06)	0,38 (0,03)	20,1 (1,9)	18,8 (2,2)
50 Mg ha ⁻¹	200,9 (14,6)	217,0 (11,9)	0,30 (0,06)	0,39 (0,03)	19,3 (1,1)	21,0 (1,3)
CV%:	34,5		13,6		7,8	
FV:	<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAdns</i>		<i>FOxD^{ns} FatxAd*</i>	
	<i>FO* e D*</i>		<i>FO* e D*</i>		<i>FO^{ns} e D*</i>	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses. Houve transformação dos dados para análise de variância para da variável S, porém, os valores apresentados na tabela foram obtidos a partir dos dados originais.

Gráfico 10 - Teor de S (A), Na (B) e Al (C) do solo, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses crescentes de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao analisar os Gráficos de regressão dessas três variáveis, observa-se que S (Gráfico 10A), Na (Gráfico 10B) e Al (Gráfico 10C) apresentaram comportamento quadrático. As concentrações de S no solo aumentaram de acordo com o aumento das doses de ambos os fertilizantes orgânicos aplicadas, indicando uma pequena queda na dose de 43 Mg ha⁻¹ de composto e de lodo. A existência do S no lodo de esgoto pode estar relacionada à presença de surfactantes, provenientes de detergentes descartados em grande quantidade nos esgotos domésticos (SIGOLO; PINHEIRO, 2010).

As concentrações de Na diminuíram até a dose de 38 Mg ha⁻¹ de composto e 40 Mg ha⁻¹ de lodo, aumentando sutilmente na maior dose. Em relação ao Al, as concentrações desse nutriente, no solo, apresentaram um aumento sutil com o acréscimo dos dois tipos de fertilizantes orgânicos com lodo até a dose de 39 Mg ha⁻¹, apresentando uma pequena queda na dose de 50 Mg ha⁻¹.

O fato das aplicações do composto e do lodo terem promovido teores de Al, no solo, consideravelmente maiores que a adubação inorgânica, pode estar relacionado à calagem feita no tratamento com fertilização inorgânica, uma vez que o calcário é frequentemente utilizado com o intuito de reduzir a acidez do solo por promover elevação do pH, cálcio e magnésio trocáveis, além de diminuir o teor de alumínio tóxico (MIGUEL et al., 2010). O alumínio é um elemento anfótero, que pode atuar como cátion em meio ácido e como ânion em meio básico, sendo o pH o principal fator que controla a sua disponibilidade no solo (MALAVOLTA, 1980), de modo que a sua solubilidade aumenta em pH abaixo de 5,5 (MIGUEL et al., 2010). Considerando que os dois tipos de lodo promoveram diminuição do pH do solo a valores ao redor de 3,7, é possível entender o porquê do acréscimo do Al com o aumento das doses de lodo.

Em relação ao Na, apesar de suas concentrações terem aumentado, no solo, na maior dose de ambos os lodos, esse aumento não foi suficiente para promover a salinização do solo, de modo que pudesse interferir no crescimento das plantas, uma vez que segundo Pedrotti et al. (2015) os níveis de salinidade permanecem altos com uma condutividade elétrica (CE) $\geq 4,0$ dS m⁻¹, o que não foi o caso desse trabalho, em que a CE nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ ficaram abaixo de 1 dS m⁻¹.

Ao tratar dos micronutrientes presentes no solo, ao final do experimento, os teores de Fe ($p < 0,001$) e Mn ($p = 0,015$) apresentaram interação entre fertilizante orgânico e dose, enquanto os teores de B ($p = 0,424$), Cu ($p = 0,121$) e Zn ($p = 0,387$) não. Ou seja, as concentrações de Fe e Mn variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado, enquanto as de B, Cu e Zn seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto.

Ou seja, não houve diferença entre os tipos de fertilizante orgânico para os teores de B ($p = 0,114$) e Zn ($p = 0,783$), enquanto para os teores de Cu ($p = 0,02$), Fe ($p < 0,001$) e Mn ($p < 0,001$) houve. Para B e Zn também não houve interação entre as doses ($p = 0,084$ e $p = 0,481$, respectivamente), já para Cu, Fe e Mn houve ($p < 0,001$ para os três). Ao considerar os tratamentos adicionais, todos os micronutrientes apresentaram diferença em relação a esses tratamentos ($p = 0,047$ para B e $p < 0,001$ para Cu, Fe, Mn e Zn).

Para o Cu, considerando as médias da adubação, o composto promoveu maior concentração desse nutriente, no solo, em relação ao lodo e aos tratamentos adicionais (Tabela 13). Para o Fe, a diferença entre os fertilizantes com lodo apareceu nas duas maiores doses e para o Mn apenas na dose de 40 Mg ha^{-1} , sendo que, para as duas variáveis, o composto foi maior. No caso do Fe, ambos os fertilizantes foram maiores que os tratamentos adicionais e no caso do Mn, apenas o composto apresentou essa diferença (Tabela 14). Em relação ao B, o lodo apresentou-se estatisticamente maior e diferente do controle e, em relação ao Zn, a adubação inorgânica foi o tratamento que promoveu maior teor desse nutriente no solo, sendo considerada significativamente diferente dos dois tipos de fertilizantes orgânicos utilizados e do tratamento controle (Tabela 13).

Tabela 13 - Valores de boro, cobre e zinco do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	B		Cu		Zn	
	----- mg dm ⁻³ -----					
Controle	0,29 b (0,04)		0,93 b (0,09)		0,33 c (0,08)	
Adubo Inorgânico	0,34 ab (0,08)		0,76 a (0,04)		27,6 a (10,3)	
LE	0,37 a (0,05)		1,04 a (0,13)		8,9 b (4,2)	
CL	0,34 ab (0,04)		0,97 a (0,1)		8,4 bc (5,4)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LEP	LEC
10 Mg ha ⁻¹	0,36 (0,06)	0,32 (0,04)	0,95 (0,09)	0,87 (0,04)	7,5 (3,6)	6,9 (4,8)
20 Mg ha ⁻¹	0,37 (0,07)	0,33 (0,01)	0,94 (0,08)	0,99 (0,08)	6,3 (3,9)	6,6 (4,9)
30 Mg ha ⁻¹	0,34 (0,02)	0,36 (0,06)	1,1 (0,01)	0,94 (0,03)	8,8 (4,8)	3,6 (1,5)
40 Mg ha ⁻¹	0,42 (0,05)	0,35 (0,03)	1,03 (0,06)	1,01 (0,09)	10,3 (5,7)	16,1 (1,7)
50 Mg ha ⁻¹	0,35 (0,05)	0,36 (0,04)	1,20 (0,13)	0,95 (0,09)	11,8 (1,4)	9,5 (4,8)
CV%:	15,2		9,7		43,7	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D ^{ns}	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

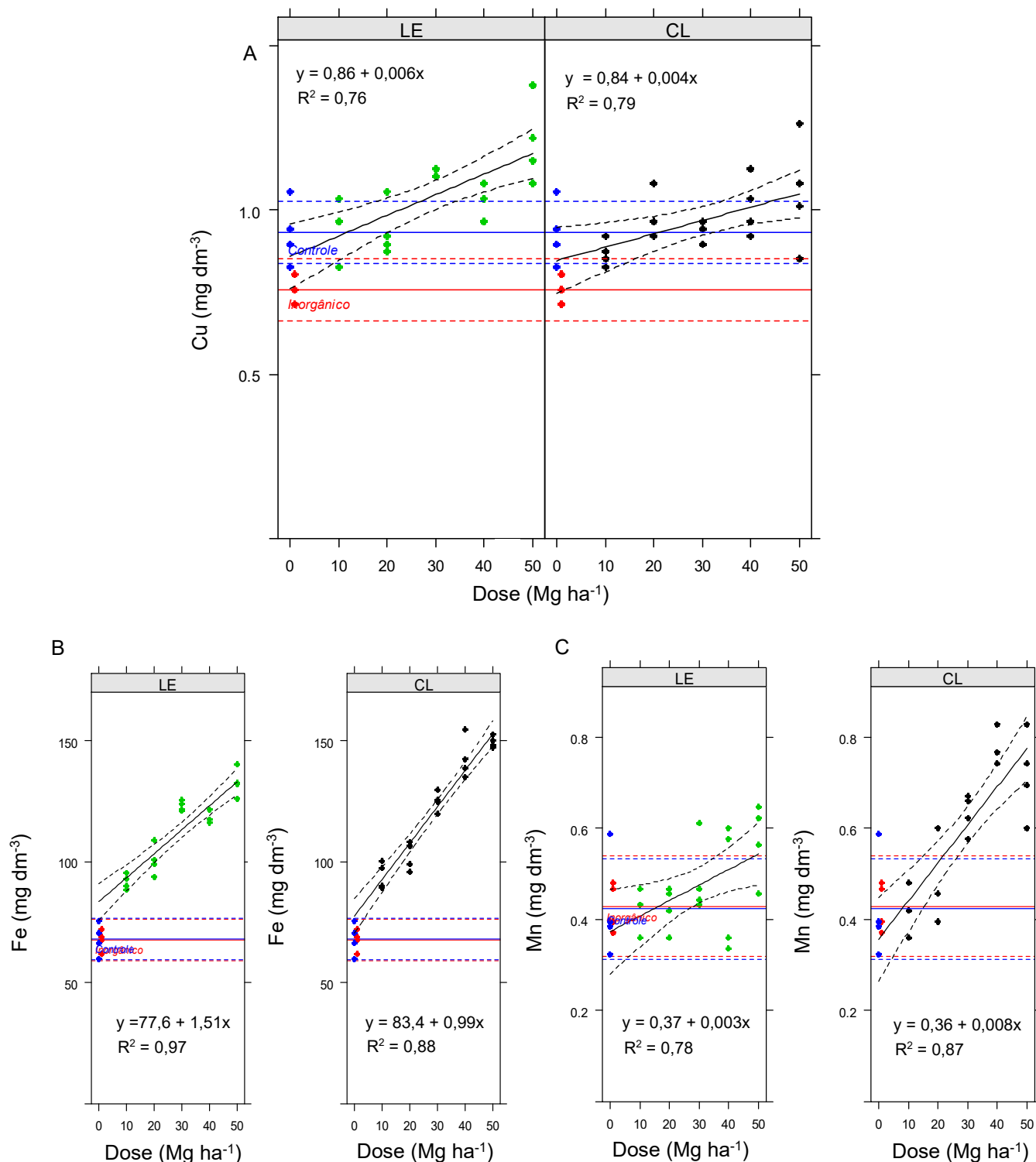
Tabela 14 - Valores de ferro e manganês do solo, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Fe					
----- mg dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	68,2 b (6,6)	67,6 b (4,3)	91,8 a (3,0)	94,4 a (5,5)	4,7
20 Mg ha ⁻¹	68,2 b (6,6)	67,6 b (4,3)	100,6 a (6,3)	102,3 a (5,9)	
30 Mg ha ⁻¹	68,2 b (6,6)	67,6 b (4,3)	123,1 a (2,1)	125,1 a (4,1)	
40 Mg ha ⁻¹	68,2 c (6,6)	67,6 c (4,3)	117,9 b (2,4)	142,6 a (8,5)	
50 Mg ha ⁻¹	68,2 c (6,6)	67,6 c (4,3)	132,8 b (5,9)	149,5 a (2,3)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				
Mn					
----- mg dm ⁻³ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,42 a (0,11)	0,43 a (0,05)	0,42 a (0,05)	0,42 a (0,05)	15,9
20 Mg ha ⁻¹	0,42 a (0,11)	0,43 a (0,05)	0,43 a (0,05)	0,51 a (0,10)	
30 Mg ha ⁻¹	0,42 b (0,11)	0,43 b (0,05)	0,49 ab (0,08)	0,63 a (0,04)	
40 Mg ha ⁻¹	0,42 b (0,11)	0,43 b (0,05)	0,47 b (0,14)	0,78 a (0,04)	
50 Mg ha ⁻¹	0,42 b (0,11)	0,43 b (0,05)	0,57 ab (0,09)	0,72 a (0,09)	
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Como os teores de Cu, Fe e Mn apresentaram diferenças entre as doses de lodo aplicadas, foi possível gerar um Gráfico de regressão para cada uma dessas variáveis, os quais serão apresentados a seguir.

Gráfico 11 - Teor de Cu (A), Fe (B), Mn (C) do solo, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Tanto o Cu, como o Fe e o Mn apresentaram aumento linear em relação ao acréscimo de dose de ambos os fertilizantes orgânicos a base de lodo. Os teores de Cu promovidos pelo composto de lodo superaram a adubação inorgânica, mas não foram suficientes para ficarem acima do controle. Para o lodo, a única dose que promoveu teor de Cu estatisticamente maior que o controle foi a de 50 Mg ha⁻¹ (Gráfico 11A). As concentrações de Fe, no solo, promovidas pelos dois tipos de fertilizante orgânico, ficaram acima do controle e da fertilização inorgânica em todas as doses aplicadas (Gráfico 11B). Já os teores de Mn superaram os dois tratamentos adicionais nas doses de 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ de composto e igualaram-se ao controle e adubação inorgânica em todas as doses de lodo (Gráfico 11C).

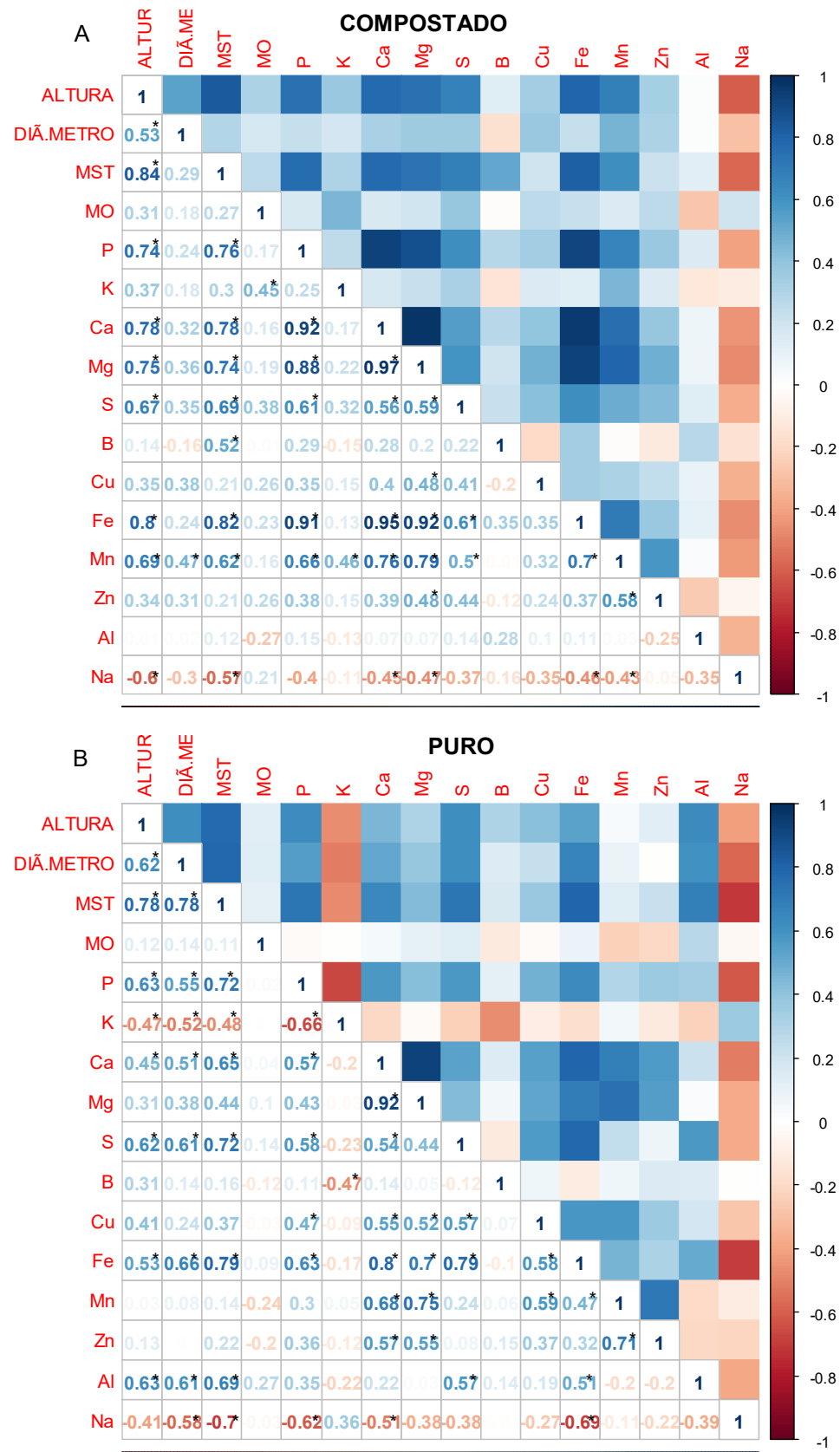
Tanto o composto de lodo como o lodo de esgoto promoveram, no solo, incremento de B, Fe e Zn em todas as doses aplicadas. No caso do Cu, a dose que promoveu incremento desse nutriente foi a de 50 Mg ha⁻¹ de lodo, o que, para o Mn ocorreu a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ de composto e dose 50 Mg ha⁻¹ de lodo.

LOBO et al. (2013) observaram que lodo de esgoto proporcionou incremento nos teores de Cu e Zn, além do aumento nos teores de B, Fe e Mn. De acordo com Rajj e Quaggio (1997) os teores de Cu, Fe e Zn promovidos pelos dois tipos de adubo orgânico, em todas as doses, são considerados altos, enquanto as concentrações de B e Mn, promovidas por ambos os fertilizantes orgânicos e em todas as doses, são consideradas baixas.

O B é solúvel em água e perdido no efluente líquido durante o tratamento (SILVA et al., 2008), por isso, os baixos teores desse nutriente no solo. De acordo com Dechen e Nachtigall (2006), o manganês apresenta alta afinidade pela matéria orgânica do solo e, normalmente, torna-se indisponível para as plantas, o que pode justificar as baixas concentrações desse nutriente apresentadas pelo solo.

Mesmo sendo considerados altos, os teores de Zn nos fertilizantes orgânicos não superaram a adubação inorgânica, o que pode ter acontecido devido a aplicação de ZnCl₂ que foi feita nesse tratamento, por conta do baixo teor desse nutriente que o solo apresentava.

Gráfico 12 - Correlação entre altura, diâmetro e massa seca total do Eucalipto com os nutrientes presentes no solo, ao final do experimento (seis meses após plantio)



Para verificar a relação dos valores de altura, diâmetro e massa seca total com os nutrientes presentes no solo, foram feitos gráficos de correlação para cada um dos tipos de lodo avaliados. A cor azul indica correlação positiva, sendo que quanto mais forte o azul, maior a correlação. A cor vermelha indica correlação negativa, sendo que quanto mais forte o vermelho, mais negativa é a correlação. O asterisco aponta que a correlação foi significativa a 5%.

Ao analisar os gráficos de correlação (Gráfico 12), observa-se que, para o composto de lodo, houve correlação significativa entre altura e MST ($r=0,84$ com $p<0,001$), P ($r=0,74$ com $p<0,001$), Ca ($r=0,78$ com $p<0,001$), Mg ($r=0,75$ com $p<0,001$), S ($r=0,62$ com $p=0,001$), Fe ($r=0,80$ com $p<0,001$) e Mn ($r=0,69$ com $p<0,001$). Esses resultados indicam que as plantas com maior altura também apresentaram maior produção de massa seca e ocorreram em solos com maior presença de P, Ca, Mg, S, Fe e Mn. A MST também apresentou correlações significativas com esses mesmos nutrientes. Em contrapartida, o diâmetro apresentou correlação apenas com a altura ($r=0,62$ com $p=0,01$), manifestando correlações fracas com todas as outras variáveis em questão.

Em relação ao lodo de esgoto, a altura apresentou correlação com a MST ($r=0,78$ com $p<0,001$), diâmetro, P ($r=0,63$ com $p=0,002$), S ($r=0,62$ com $p=0,003$), Fe ($r=0,53$ com $p=0,01$) e Al ($r=0,63$ com $p=0,02$). O diâmetro apresentou correlações com MST ($r=0,78$ com $p<0,001$), P ($r=0,55$ com $p=0,01$), S ($r=0,61$ com $p=0,004$), Fe ($r=0,66$ com $p=0,001$) e Al ($r=0,69$ com $p=0,004$). Ou seja, as plantas com maiores alturas produziram maior quantidade de massa seca total e tanto as maiores alturas quanto os maiores diâmetros ocorreram em solos com maior presença P, S, Fe e Al.

Portanto, em solos adubados com composto de lodo, as plantas atingiram maiores alturas, MST e diâmetros em solos com maiores concentrações de P, Ca, Mg, Fe e Mn, enquanto que, na aplicação de lodo de esgoto, as plantas alcançaram a maior altura, diâmetro e produção de MST na maior presença de P, S, Fe e Al.

As espécies do gênero *Eucalyptus* apresentam, em geral, maior tolerância a valores elevados de atividade de Al^{+3} na solução do solo do que a maioria das culturas agrícolas (SILVA et al., 2004; POSCHENRIEDER et al., 2008; TAHARA et al., 2008), além de requererem níveis de Ca e Mg inferiores aos estabelecidos como críticos para

a maioria das culturas (BARROS; NOVAIS, 1990; RIBEIRO et al., 1999). Os mecanismos de tolerância ao Al são vários, podendo ser fisiológicos (SILVA et al., 2004; POSCHENRIEDER et al., 2008) e/ou indiretos, pela complexação do Al pela fração orgânica presente (VIEIRA et al., 2008). Por conta disso, as plantas de Eucalipto conseguiram crescer, mesmo em presença de grandes quantidades de Al no solo.

O alumínio altera a absorção, transporte e uso de elementos (Ca, Mg, P, K), podendo, ainda, comprometer a aquisição de água pelas plantas (Roy et al., 1988; Kochian, 1995). A interação do alumínio com esses nutrientes, na adubação com o lodo de esgoto, pode justificar a menor correlação que eles apresentaram com a altura, diâmetro e massa seca total, quando comparados com o composto de lodo. No caso do K, a correlação foi negativa ($r = -0,47$ com $p = 0,04$ para altura, $r = -0,52$ com $p = 0,02$ para diâmetro e $r = -0,48$ com $p = 0,002$ para MST), indicando que as plantas fertilizadas com lodo apresentaram alturas maiores quando o solo apresentou menor presença desse nutriente. A grande quantidade de Al nos solos adubados com lodo e a interação desse elemento com outros nutrientes presentes no solo podem ter sido fatores limitantes para que as plantas de eucalipto alcançassem alturas iguais ou maiores que as plantas adubadas com composto de lodo.

De modo geral, a contribuição das doses de ambos os fertilizantes orgânicos para as variáveis químicas do solo foi positiva. Tanto o composto quanto o lodo promoveram incremento de P, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Zn, Mn, MO, SB e CTC, principalmente nas maiores doses aplicadas. Os principais incrementos foram de P e CTC, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ dos dois fertilizantes orgânicos, em que o P e a CTC apresentaram-se duas vezes maiores em relação ao solo anterior à adubação. Não houve incremento de V% e K, porém, os valores dessas variáveis, promovidos pelos adubos orgânicos nas maiores doses, foram considerados significativamente iguais à fertilização inorgânica. Ambos os fertilizantes orgânicos promoveram aumento da acidez potencial e consequente redução do pH do solo. O aumento das doses de composto e de lodo aumentaram os teores de S e Al no solo. Entretanto, o aumento desse último não prejudicou o desenvolvimento inicial das plantas.

Portanto, o acréscimo de doses de composto de lodo e lodo de esgoto promoveu incrementos de macro e micronutrientes, matéria orgânica e CTC no solo,

sendo as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ as que apresentaram os melhores resultados, os quais, em sua maioria, foram melhores que a adubação inorgânica.

4.3 Nutrição das Plantas

4.3.1 Concentração e quantidade de nutrientes nas folhas

Ao avaliar os macronutrientes das folhas de eucalipto, considerando os resultados da análise de variância e dos testes de comparações múltiplas, observou-se que apenas o N ($p=0,010$) apresentou concentrações com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose (Tabela 15), enquanto P ($p=0,253$), K ($p=0,849$), Ca ($p=0,321$), Mg ($p=0,135$) e S ($p=0,132$) não (Tabela 16). Isso mostra que as concentrações médias de P, K, Ca, Mg e S seguiram um perfil médio nas diferentes doses de composto e de lodo, enquanto as concentrações de N variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico.

As concentrações de P, K, Ca, Mg e S, considerando a média da adubação, não apresentaram interação significativa entre os tipos de adubo orgânico ($p=0,110$ para P, $p=0,436$ para Ca, $p=0,77$ para Mg e $p=0,425$ para S), porém, indicaram interação significativa entre esses adubos e os tratamentos adicionais ($p<0,001$ para P, Mg e S, e $p=0,003$ para Ca). Ou seja, os perfis médios das concentrações desses nutrientes foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com os fertilizantes orgânicos, sendo possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com esses fertilizantes, independente de seu tipo (compostado ou puro). Porém, essas respostas apresentaram diferenças significativas em relação à adubação inorgânica e/ou tratamento controle.

Em relação às doses, o Ca ($p=0,252$) e o Mg ($p=0,935$) não apresentaram interação significativa entre elas, enquanto P, K e S ($p<0,001$ para todos) sim, podendo ser observadas nos Gráficos 15 (P e K) e 16 (S).

Tabela 15 - Concentração de nitrogênio nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

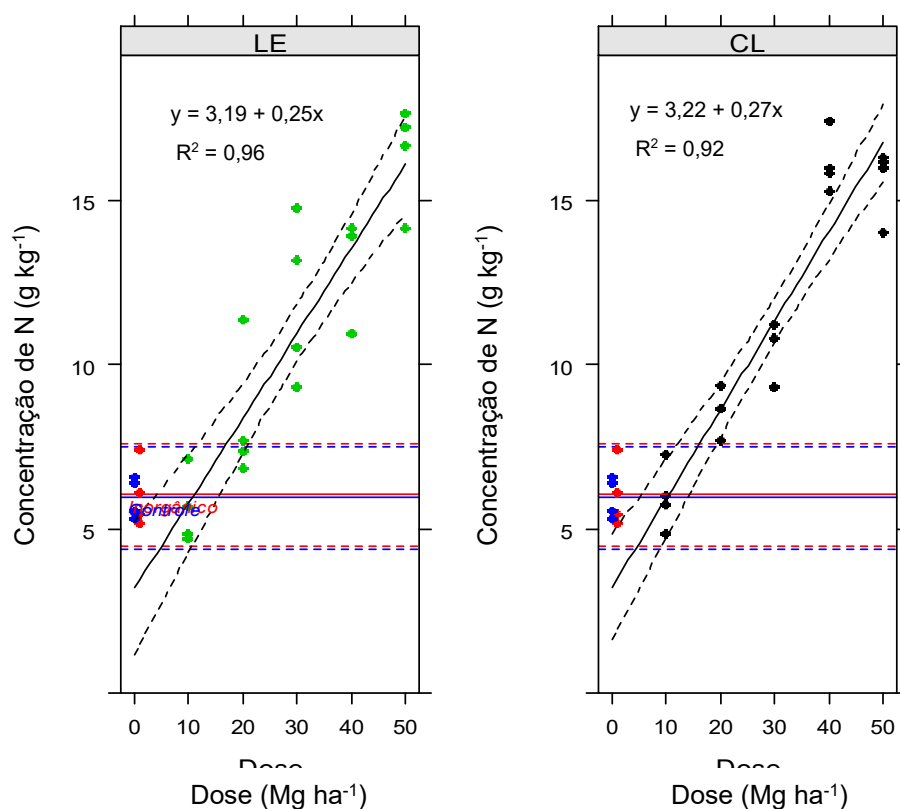
N					
----- g kg ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	5,9 a (0,6)	6,0 a (0,9)	5,9 a (1,01)	5,6 a (1,1)	13,5
20 Mg ha ⁻¹	5,9 a (0,6)	6,0 a (0,9)	8,4 a (0,8)	8,3 a (2,0)	
30 Mg ha ⁻¹	5,9 b (0,6)	6,0 b (0,9)	10,6 a (0,9)	11,9 a (2,5)	
40 Mg ha ⁻¹	5,9 c (0,6)	6,0 c (0,9)	16,1 a (0,9)	12,5 b (1,8)	
50 Mg ha ⁻¹	5,9 b (0,6)	6,0 b (0,9)	15,6 a (1,1)	16,4 a (1,6)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO ^{ns} e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Quando as concentrações de N foram avaliadas por regressão, observou-se que houve efeito linear na interação entre fertilizante orgânico e dose para os dois tipos adubo orgânico. Através do Gráfico 13, foi possível constatar que as concentrações desse nutriente aumentaram em relação às doses crescentes de lodo e de composto e que, nas duas menores doses, as concentrações de N foram consideradas estatisticamente iguais em todos os tratamentos e, a partir da dose 30 Mg ha⁻¹, os tratamentos adicionais foram significativamente diferentes das adubações com os fertilizantes orgânicos. A única dose que promoveu diferença estatística, nas concentrações de N, entre os dois tipos de adubo orgânico foi a de 40 Mg ha⁻¹, na qual a adubação com lodo promoveu maior concentração de N que a com composto.

O lodo de esgoto é um resíduo rico em material orgânico, o qual pode oferecer quantidades satisfatórias de N às plantas (GUEDES, 2005), o que pôde ser observado nas maiores doses de adubo orgânico aplicadas, uma vez que as doses de 50 Mg ha⁻¹ de lodo, 40 Mg ha⁻¹ e 50 Mg ha⁻¹ de composto promoveram concentrações de N, nas folhas, consideradas ideais, entre 13,5 e 18 g kg⁻¹, para o eucalipto (GONÇALVES, J.L.M; RAIJ; GONÇALVES, J.C. 1997).

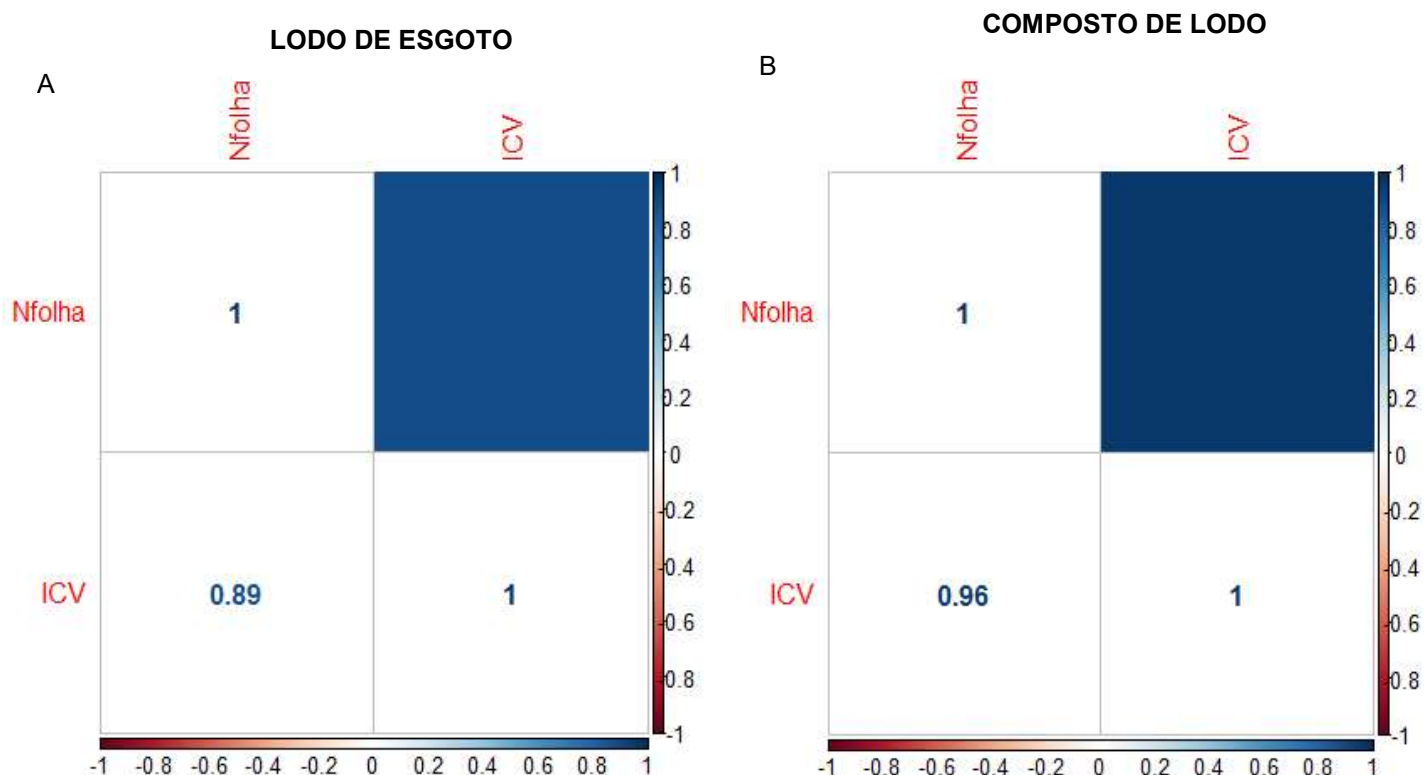
Gráfico 13 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na concentração de N foliar do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Várias pesquisas têm demonstrado que a concentração de N na planta correlaciona-se com o conteúdo de clorofila medido com o clorofilômetro (MINOTTI et al., 1994; GIL et al., 2002; GIANQUINTO et al., 2003; BUSATO, 2007) demonstrando que o SPAD-502 pode ser usado na avaliação indireta do estado nutricional de N e, conseqüentemente, inferir sobre a necessidade de adubação de muitas culturas (Fox et al., 1994). Considerando, então, que o índice de cor verde geralmente correlaciona-se positivamente com o teor de N foliar, devido esse nutriente constituir parte de sua molécula (CARVALHO; SILVEIRA; SANTOS, 2012), foram feitas análises para avaliar a correlação do ICV com a concentração de N, em cada um dos fertilizantes orgânicos usados nesse trabalho.

Gráfico 14 - Correlação entre a concentração de N, nas folhas de eucalipto, e os valores de índice de cor verde obtidos através de clorofilômetro



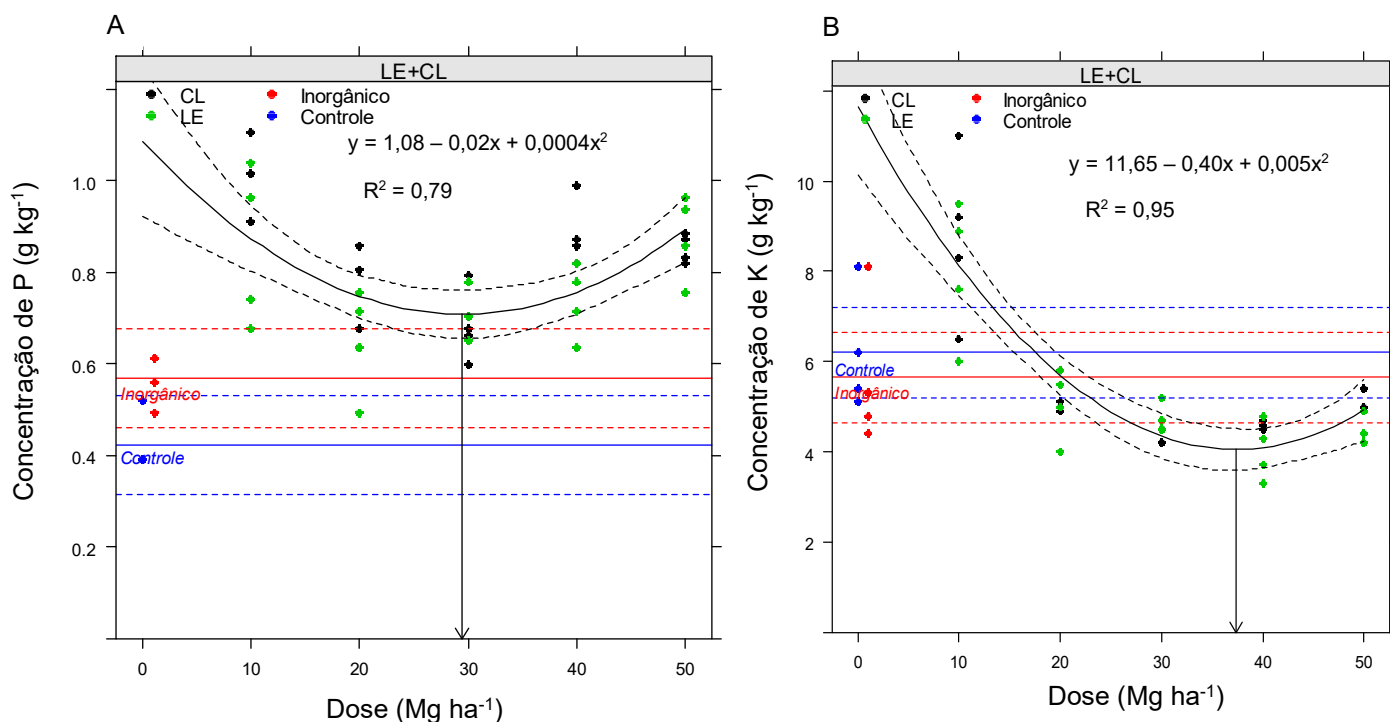
Como observado nos Gráficos 14A e 14B, as correlações entre a concentração de N nas folhas de eucalipto e os valores de ICV, obtidos através de clorofilômetro, foram significativas ($p < 0,001$) tanto para o composto, como para o lodo, indicando que, para ambos os fertilizantes orgânicos, o maior ICV ocorreu quando a planta apresentou maior concentração de N nas folhas. Esse resultado corrobora com os resultados de outros trabalhos e mostra que, para o lodo compostado, essa correlação é melhor, sendo extremamente forte, uma vez que ficou muito próxima de um.

Tabela 16 - Concentração do fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	P		K		Ca		Mg		S	
	----- g kg ⁻¹ -----									
Controle	0,42 b (0,07)		6,2 a (1,3)		8,9 a (0,3)		3,1 a (0,2)		1,0 b (0,04)	
Adubo Inorgânico	0,56 b (0,05)		5,7 ab (1,7)		5,7 b (0,6)		2,8 ab (0,4)		1,1 b (0,07)	
LE	0,76 a (0,13)		5,3 ab (1,6)		5,8 b (1,2)		2,4 c (0,2)		1,5 a (0,3)	
CL	0,82 a (0,13)		5,6 b (1,8)		6,1 b (1,1)		2,5 bc (0,2)		1,6 a (0,4)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	0,85 (0,2)	0,94 (0,2)	8,0 (1,6)	8,8 (1,9)	5,3 (0,7)	5,2 (0,4)	2,4 (0,08)	2,7 (0,05)	1,2 (0,09)	1,2 (0,08)
20 Mg ha ⁻¹	0,65 (0,1)	0,74 (0,1)	5,1 (0,8)	5,2 (0,4)	6,50 (1,3)	5,2 (0,3)	2,5 (0,3)	2,5 (0,2)	1,5 (0,2)	1,3 (0,3)
30 Mg ha ⁻¹	0,72 (0,06)	0,68 (0,08)	4,7 (0,3)	4,5 (0,2)	6,7 (1,4)	5,9 (1,4)	2,5 (0,3)	2,4 (0,3)	1,7 (0,2)	1,6 (0,06)
40 Mg ha ⁻¹	0,73 (0,07)	0,88 (0,07)	4,0 (0,7)	4,6 (0,09)	6,4 (1,3)	6,3 (0,6)	2,3 (0,1)	2,7 (0,2)	1,5 (0,4)	1,9 (0,2)
50 Mg ha ⁻¹	0,88 (0,09)	0,85 (0,03)	4,5 (0,3)	5,1 (0,2)	6,5 (2,1)	5,6 (0,8)	2,4 (0,08)	2,6 (0,3)	1,8 (0,3)	2,0 (0,4)
CV%:	15,3		18,8		37,2		8,4		16,8	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses. Houve transformação dos dados para análise de variância para das variáveis K e Ca, porém, os valores apresentados na tabela foram obtidos a partir dos dados originais.

Gráfico 15 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na concentração de P (A) e K (B) foliar do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Em relação ao P, os teores promovidos pelos dois tipos de fertilizante orgânico, considerando as adubações médias, foram significativamente iguais e, quando comparados com os tratamentos adicionais, foram estatisticamente diferentes e maiores. No caso do K, ainda em relação à adubação média, as concentrações promovidas por todos os tratamentos foram significativamente iguais.

Através dos gráficos de regressão 15A e 15B, foi possível observar que, em ambos os adubos orgânicos, houve diminuição da concentração de P e K, nas folhas, de acordo com o aumento das doses aplicadas, até 30 Mg ha⁻¹ para o P e até 37 Mg ha⁻¹ para o K, havendo um aumento nas doses maiores, de 40 e 50 Mg ha⁻¹. A explicação que pode ser dada para esse comportamento é que conforme as doses aumentaram, as plantas desenvolveram-se mais, havendo maior distribuição desses nutrientes por todas as partes delas, por isso, a queda nos valores da concentração. O fato de essa concentração aumentar nas maiores dosagens mostra que essas quantidades de fertilizante orgânico aplicadas foram suficientes para suprir as necessidades das plantas e ainda assim manter a concentração de P em um nível

próximo ao considerado adequado ($0,9$ a $1,3 \text{ g kg}^{-1}$) por Gonçalves, J.L.M; Raij; Gonçalves, J.C. (1997), diferente do que ocorre nas concentrações de K, as quais, mesmo nas doses maiores, ficaram abaixo dos valores adequados ($9,0$ a $13,0 \text{ g kg}^{-1}$) para esse nutriente nas folhas de eucalipto, indicando a necessidade de que a suplementação de K nos adubos orgânicos considere valores maiores dos que os usados na suplementação inorgânica.

Como observado na Tabela 16, o teste de Tukey mostrou que, para a concentração de Ca, considerando as médias de adubação, o tratamento adicional que se diferenciou dos fertilizantes orgânicos foi o controle, enquanto a adubação inorgânica foi significativamente igual aos adubos orgânicos. O fato de o controle ter apresentado a maior concentração média de Ca pode ser explicada devido ao baixo desenvolvimento dessas plantas, condição que pode ter promovido um efeito de concentração desse nutriente nas folhas. Para a concentração média de Mg, a adubação inorgânica foi considerada estatisticamente semelhante ao lodo compostado. Esses resultados demonstram que mesmo passando pelo processo de calagem, com calcário dolomítico (que possui Ca e Mg), a fertilização inorgânica não promoveu concentrações médias de Ca e Mg, nas folhas de eucalipto, maiores que o composto de lodo.

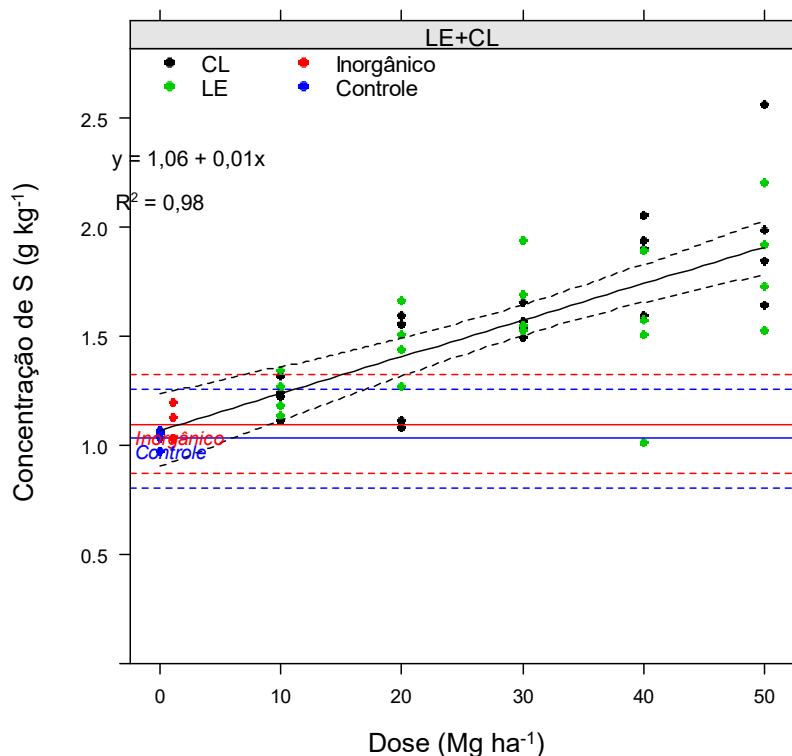
Então, dos macronutrientes, apenas as concentrações de P e S, promovidas por ambos os fertilizantes orgânicos, foram estatisticamente diferentes e maiores que os dois tratamentos adicionais.

As doses de 40 e 50 Mg ha^{-1} dos adubos orgânicos, além de promoverem concentrações de P próximas à considerada adequada para as folhas de eucalipto, ainda promoveram teores foliares de Ca e S tidos como adequados, entre 6 e 10 g kg^{-1} para o Ca e $1,5$ e $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ para o S, o que não ocorreu com o Mg, que mesmo nas dosagens mais altas, apresentou concentrações abaixo do ideal, que fica entre $3,5$ e $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ (GONÇALVES, J.L.M; RAIJ; GONÇALVES, J.C. 1997) (Tabela 7). Isso mostra que, mesmo sem passar pelo processo de calagem, o fertilizante orgânico a base de lodo pode oferecer quantidades ideais de Ca para as folhas, o que não ocorre com o Mg. Segundo Wadt et al. (1998) o nível crítico de Mg nas folhas de eucalipto é de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$, ou seja, de acordo com esse autor, abaixo dessa concentração faz-se

necessária a aplicação de fertilizantes. Mesmo estando abaixo das consideradas adequadas, as concentrações de Mg promovidas pelas maiores doses de lodo de composto estão acima do nível crítico desse nutriente nas folhas, demonstrando que, ao utilizar as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo compostado, a suplementação de Mg é desnecessária.

Através do Gráfico 16 foi possível observar que as concentrações de S passaram a diferenciar-se estatisticamente dos tratamentos adicionais a partir da dose de 30 Mg ha⁻¹ de adubo orgânico a base de lodo.

Gráfico 16 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na concentração de S foliar do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Os valores da massa seca e dos teores de nutrientes das folhas permitiu o cálculo da quantidade de cada nutriente nesse compartimento da planta.

Ao avaliar a quantidade dos macronutrientes das folhas de eucalipto, considerando os resultados da análise de variância e dos testes de comparações múltiplas, observou-se que, assim como ocorreu nas concentrações desses nutrientes, apenas o N ($p < 0,001$) apresentou quantidades com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose (Tabela 17), enquanto P ($p = 0,063$), K ($p = 0,675$), Ca ($p = 0,889$), Mg ($p = 0,317$) e S ($p = 0,105$) não (Tabela 18). Ou seja, as quantidades médias de P, K, Ca, Mg e S seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto, enquanto as quantidades de N variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado.

As quantidades de P, K e Mg, considerando a média da adubação, apresentaram interação significativa entre os tipos de fertilizante orgânico ($p < 0,001$ para P, $p = 0,008$ para K e $p = 0,014$ para Mg), enquanto as quantidades de Ca ($p = 0,639$) e S ($p = 0,209$) não. Ou seja, os perfis médios das quantidades de P, K e Mg foram paralelos e diferentes, apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com fertilizante orgânico a base de lodo, estimando-se um modelo de resposta média para cada tipo (lodo e composto), enquanto os perfis médios das quantidades de Ca e S foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com adubo orgânico, sendo possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico, independente de seu tipo (compostado ou puro). Todos os macronutrientes indicaram interação significativa entre os adubos orgânicos e os tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para N, P, K, Ca, Mg e S). Então, essas respostas apresentaram diferenças em relação à adubação inorgânica e/ou controle.

Em relação às doses, P, K, Ca, Mg e S ($p < 0,001$ para P, Ca, Mg e S e $p = 0,004$ para K) apresentaram interação significativa entre elas, podendo ser observadas nos Gráficos 18 (P, K e Mg) e 19 (Ca e S).

Tabela 17 - Quantidade de nitrogênio nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

N					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,3 b (0,03)	1,2 a (0,2)	0,9 a (0,2)	1,0 a (0,2)	
20 Mg ha ⁻¹	0,3 c (0,03)	1,2 b (0,2)	1,6 a (0,4)	1,8 a (0,1)	
30 Mg ha ⁻¹	0,3 c (0,03)	1,2 b (0,2)	2,5 a (0,4)	2,3 a (0,09)	9,7
40 Mg ha ⁻¹	0,3 d (0,03)	1,2 c (0,2)	2,9 b (0,09)	3,9 a (0,1)	
50 Mg ha ⁻¹	0,3 c (0,03)	1,2 b (0,2)	3,8 a (0,2)	4,1 a (0,3)	
Modelo	-	-	Linear	Linear	
Significativo					
FV:	FOxD* FatxAd ^{ns}				
	FO ^{ns} e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Tabela 18 - Quantidade de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

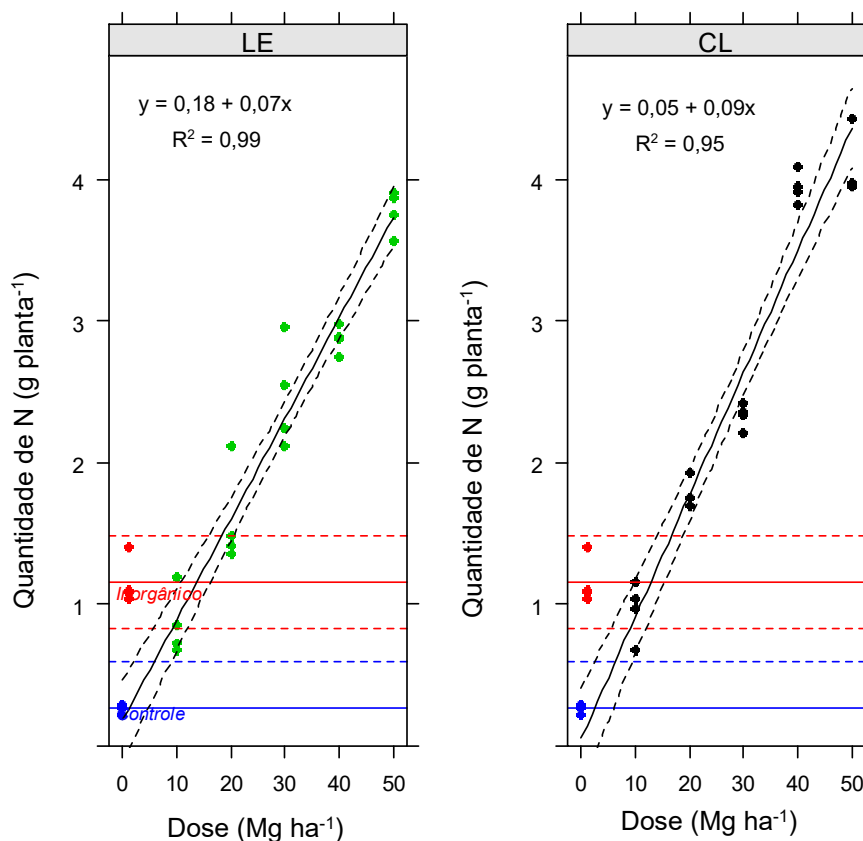
	P		K		Ca		Mg		S	
	----- g planta ⁻¹ -----									
Controle	0,02 d (0,00)		0,3 c (0,08)		0,4 b (0,03)		0,1 b (0,01)		0,05 c (0,005)	
Adubo Inorgânico	0,11 c (0,01)		1,1 ab (0,4)		1,1 a (0,1)		0,5 a (0,09)		0,21 b (0,03)	
LE	0,15 b (0,03)		1,0 b (0,2)		1,3 a (0,4)		0,49 a (0,08)		0,32 a (0,09)	
CL	0,17 a (0,04)		1,2 a (0,2)		1,2 a (0,3)		0,54 a (0,09)		0,34 a (0,10)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	0,13 (0,02)	0,15 (0,02)	1,2 (0,2)	1,4 (0,2)	0,8 (0,2)	0,8 (0,1)	0,37 (0,03)	0,43 (0,04)	0,19 (0,02)	0,19 (0,03)
20 Mg ha ⁻¹	0,12 (0,02)	0,16 (0,03)	1,0 (0,1)	1,1 (0,05)	1,3 (0,2)	1,1 (0,1)	0,48 (0,05)	0,52 (0,02)	0,28 (0,03)	0,28 (0,06)
30 Mg ha ⁻¹	0,15 (0,009)	0,15 (0,01)	1,0 (0,04)	1,0 (0,1)	1,4 (0,3)	1,3 (0,3)	0,52 (0,05)	0,52 (0,04)	0,35 (0,04)	0,34 (0,03)
40 Mg ha ⁻¹	0,17 (0,006)	0,22 (0,01)	0,9 (0,2)	1,1 (0,04)	1,5 (0,4)	1,5 (0,2)	0,53 (0,07)	0,65 (0,02)	0,34 (0,06)	0,46 (0,04)
50 Mg ha ⁻¹	0,20 (0,003)	0,22 (0,02)	1,0 (0,1)	1,3 (0,1)	1,3 (0,3)	1,4 (0,2)	0,56 (0,07)	0,65 (0,14)	0,43 (0,10)	0,45 (0,06)
CV%:	14,00		18,6		23,40		13,60		21,20	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO*e D*		FO*e D*		FO ^{ns} e D*		FO*e D*		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Ao observar a Tabela 18, notou-se que, considerando a média geral, apenas as quantidades de P e K diferenciaram-se em relação ao tipo de fertilizante orgânico utilizado, sendo que o composto promoveu maiores quantidades desses nutrientes que o lodo. Para P e S, os adubos orgânicos foram considerados diferentes dos dois tratamentos adicionais, enquanto que, para o K, Ca e Mg a diferença ocorreu apenas em relação ao controle.

Quando as quantidades de N foram avaliadas por regressão, observou-se que houve efeito linear na interação entre fertilizante orgânico e dose para os dois tipos de adubo orgânico. Através do Gráfico 17, foi possível constatar que as quantidades desse nutriente aumentaram em relação às doses crescentes de lodo e de composto e que, na menor dose (10 Mg ha^{-1}) dos dois tipos de fertilizante orgânico, as quantidades de N foram consideradas estatisticamente iguais à adubação inorgânica, passando a diferenciar-se dela a partir da dose 20 Mg ha^{-1} . Ou seja, a partir da dose 20 Mg ha^{-1} , ambos os tanto o lodo quanto o composto forneceram às plantas maiores quantidades de N que a adubação inorgânica. A única dose que promoveu diferença estatística, nas quantidades de N, entre os dois tipos de fertilizante orgânico, foi a de 40 Mg ha^{-1} , na qual a adubação com composto promoveu maior quantidade de N que a com lodo, o contrário do que ocorreu quando foi avaliada a concentração desse nutriente. Em todas as doses, os tratamentos com o adubo orgânico apresentaram maiores quantidades de N em relação ao controle.

Gráfico 17 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de N nas folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao observar o Gráfico 18, nota-se que as quantidades de P (Gráfico 18A) e Mg (Gráfico 18C) aumentaram de acordo com o aumento das doses dos fertilizantes orgânicos aplicadas, enquanto o K (Gráfico 18B) apresentou diminuição do acúmulo desse nutriente até a dose 30 Mg ha⁻¹, aumentando nas duas maiores doses, em ambos os adubos orgânicos. No caso do P, a partir da dose 20 Mg ha⁻¹ de composto, as quantidades desse nutriente foram significativamente maiores que as da adubação inorgânica enquanto que, no lodo, essa diferença apareceu a partir da dose 30 Mg ha⁻¹. No caso do K, mesmo havendo um aumento do acúmulo desse nutriente nas maiores dosagens, esse aumento, para ambos os fertilizantes orgânicos, não foi suficiente para ser maior que as quantidades de K apresentadas pela adubação inorgânica. Em relação ao Mg, apesar das quantidades desse nutriente serem maiores

nas maiores doses de composto e de lodo, a dose de 40 Mg ha⁻¹ de lodo compostado foi a única que promoveu quantidades de Mg maiores que a adubação inorgânica.

Em relação ao Ca e S, como o perfil médio do acúmulo desses nutrientes, nas doses crescentes de composto e lodo, não apresentou diferença significativa, mostrando que o comportamento da planta foi o mesmo, foi possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico a base de lodo, independente de seu tipo. Ao analisar o Gráfico 19, observa-se que houve um aumento no acúmulo de Ca até a dose de 39 Mg ha⁻¹, havendo um pequeno decréscimo nas doses maiores, não apresentando diferenças estatísticas em relação à adubação inorgânica (Gráfico 19A). No caso do S, o padrão da quantidade desse nutriente foi linear, aumentando de acordo com as doses de adubo orgânico, apresentando diferença da adubação inorgânica a partir da dose de 30 Mg ha⁻¹ de de composto e de lodo (Gráfico 19B).

Para todos os macronutrientes das folhas, as quantidades de nutrientes apresentadas foram maiores que o controle. Apenas os acúmulos de N, P e S, nesse compartimento, foram maiores que a adubação inorgânica, de modo geral, a partir da dose 30 Mg ha⁻¹, nos dois tipos de fertilizante orgânico.

Gráfico 18 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de P (A), K (B) e Mg (C) nas folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário

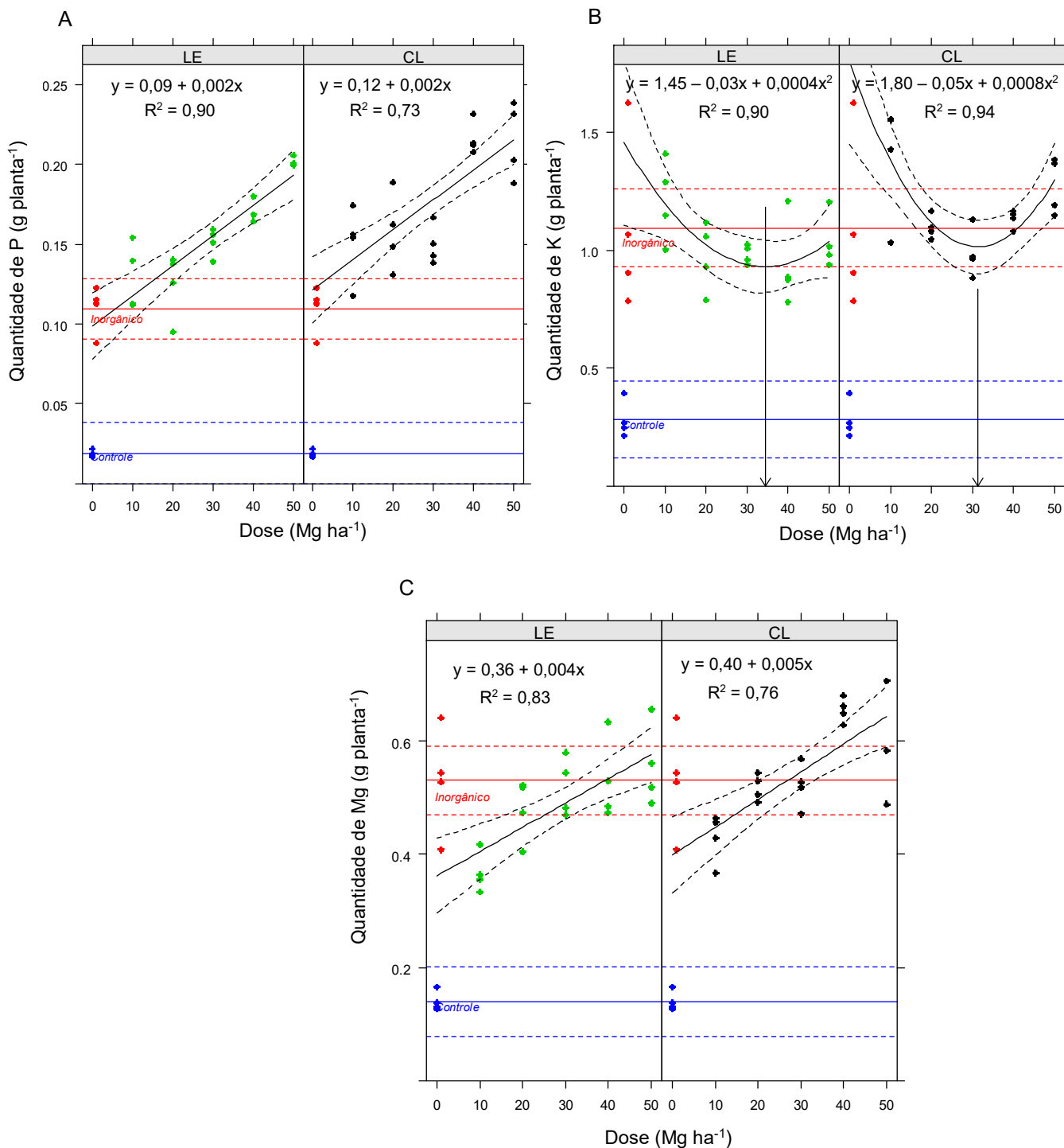
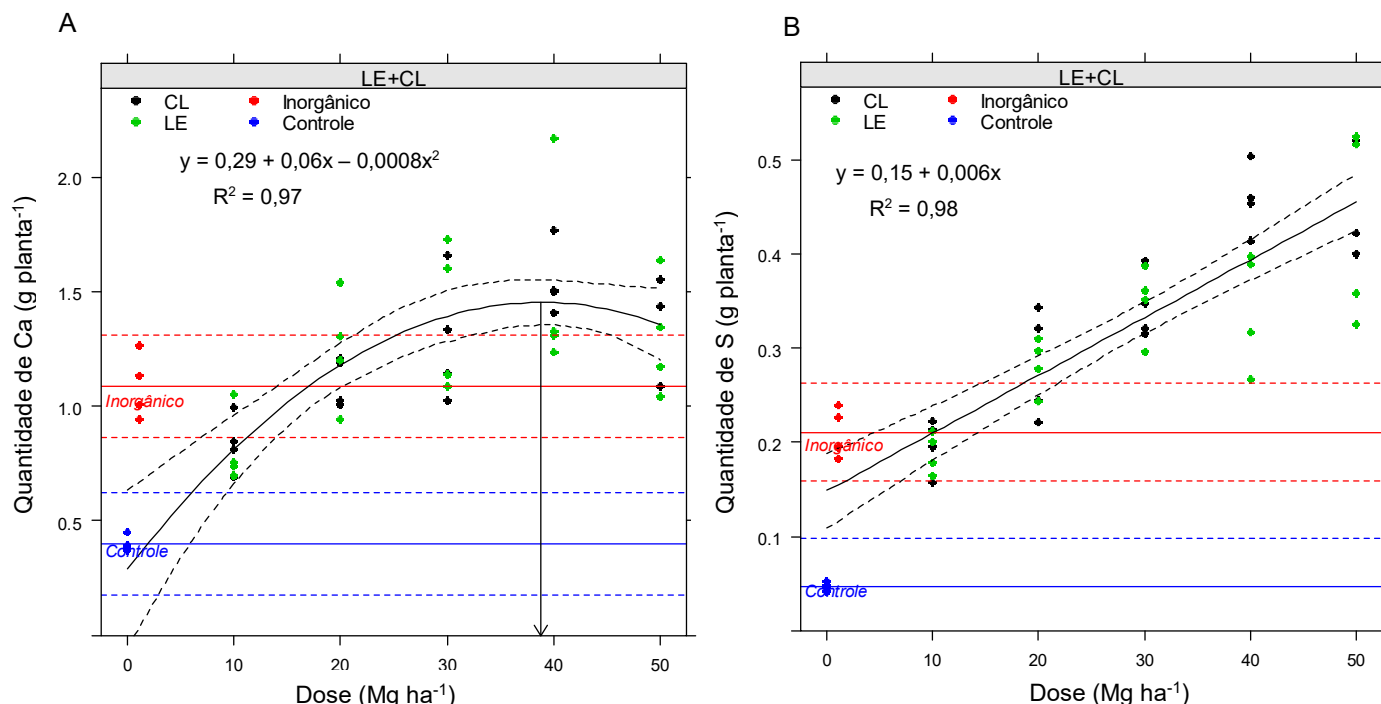


Gráfico 19 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Ca (A) e S (B) nas folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao comparar as concentrações dos nutrientes com seus respectivos acúmulos, pôde-se verificar a ocorrência do efeito de diluição/concentração. De acordo com Leite (2012), ao observar o teor dos nutrientes em função dos tratamentos, pode-se aferir apenas a faixa de adequado ou deficiente, e ao analisar seus respectivos acúmulos, pode-se verificar a influência de cada tratamento. Por isso, quando comparamos as concentrações com as quantidades, o comportamento dos nutrientes muda.

Ao voltar a Tabela 3, é possível observar que dos macronutrientes, o N, P e S foram os que apareceram em maiores quantidades, o que pode explicar o aumento desses nutrientes nas folhas de eucalipto, de acordo com o aumento das doses de ambos os fertilizantes orgânicos e a diferença das quantidades desses nutrientes em relação à adubação inorgânica (Gráficos 17, 18A e 19B, respectivamente).

A menor dose de ambos os adubos orgânicos promoveu a maior quantidade de K nas folhas, a qual diminuiu de acordo com o aumento das doses, até a dose 30

Mg ha⁻¹, voltando a aumentar nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹. A diminuição do acúmulo de K, ao aumentar as doses de lodo e composto, pode estar relacionada ao efeito diluição. Este efeito é caracterizado quando a taxa de crescimento relativo de massa seca é superior à taxa de absorção relativa do nutriente (MAIA, 2005). Ou seja, como visto na Tabela 5, a menor dose de ambos os lodos promoveu o menor crescimento às plantas e, conforme as doses de lodo aumentaram, as plantas cresceram mais, superando a taxa de absorção de K até a dose 30 Mg ha⁻¹. Nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, apesar das plantas terem apresentado maior crescimento, essas quantias de fertilizante orgânico a base de lodo forneceram K suficiente para que a planta crescesse e ainda acumulasse quantidades desse nutriente iguais ao da adubação inorgânica. No caso da dose de 50 Mg ha⁻¹ de composto de lodo, a quantidade de K nas folhas de eucalipto ficou próxima de superar a adubação inorgânica.

No caso do Ca e Mg, o aumento das doses de ambos os adubos orgânicos promoveu aumento na quantidade desses dois nutrientes, sendo que, no caso do Mg, esse aumento foi linear (Gráfico 18C) e no caso do Ca (Gráfico 19A) esse aumento foi quadrático, havendo um decréscimo mínimo na dose de 50 Mg ha⁻¹. As quantidades de Ca promovidas pelo adubo orgânico, apesar de não terem sido maiores que a adubação inorgânica, ficaram muito próximas de superarem esse tipo de adubação na dose de 40 Mg ha⁻¹. Assim como já foi dito anteriormente, apenas a dose de 40 Mg ha⁻¹ de composto promoveu quantidade de Mg maior que a adubação inorgânica, nas folhas de eucalipto. Provavelmente, a adubação com lodo não tenha superado a adubação inorgânica, no caso desses dois nutrientes, por conta da calagem, com calcário dolomítico, que foi feita na fertilização inorgânica, pois, esse tipo de calcário apresenta Ca e Mg em sua composição, incrementando o solo com esses dois nutrientes. Então, a dose ideal para obter-se a maior quantidade de Ca nas folhas é a de 40 Mg ha⁻¹, independente de qual adubo orgânico for utilizado, pois, ela praticamente supera a adubação inorgânica e, em doses maiores de adubo orgânico, a quantidade desse nutriente tende a decair. E, para o Mg, a dose ideal para obtenção da maior quantidade desse nutriente nas folhas é a de 40 Mg ha⁻¹ de composto de lodo.

Em relação aos micronutrientes das folhas de eucalipto, observou-se que apenas o Mn apresentou concentrações com interação significativa entre fertilizante

orgânico e dose ($p=0,002$) (Tabela 19), enquanto B ($p=0,837$), Cu (0,700), Fe ($p=0,309$), Zn ($p=0,513$) não (Tabela 20), mostrando que as concentrações médias de B, Cu, Fe e Zn seguiram um perfil médio nas diferentes doses de composto e de lodo, enquanto as concentrações de Mn variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado.

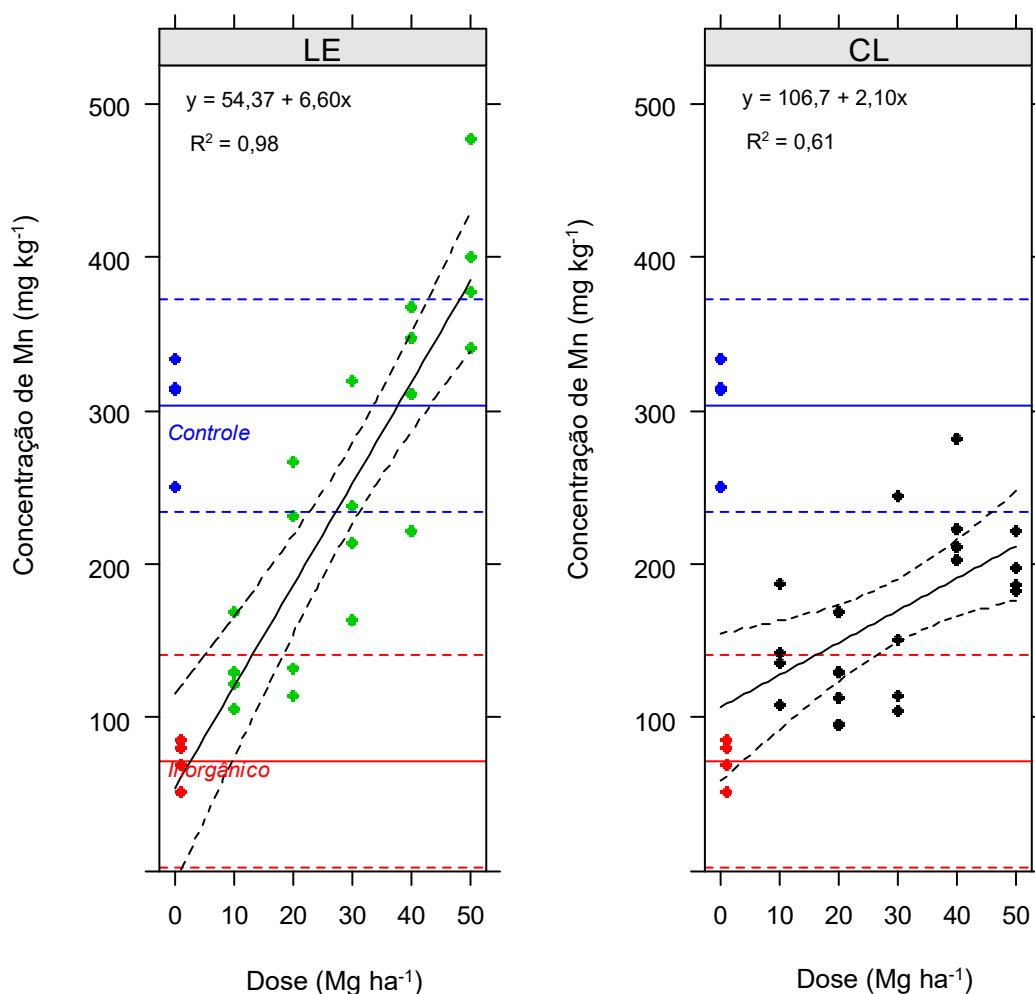
Tabela 19 - Concentração do manganês nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn					
----- mg kg ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	303,3 a (36,1)	71,5 b (14,6)	131,8 b (26,8)	143,3 b (32,7)	22,9
20 Mg ha ⁻¹	303,3 a (36,1)	71,5 c (14,6)	186,0 b (74,6)	126,3 bc (31,1)	
30 Mg ha ⁻¹	303,3 a (36,1)	71,5 c (14,6)	234,0 ab (65,1)	153,3 bc (63,8)	
40 Mg ha ⁻¹	303,3 a (36,1)	71,5 b (14,6)	312,3 a (64,6)	229,8 a (35,8)	
50 Mg ha ⁻¹	303,3 b (36,1)	71,5 d (14,6)	399,0 b (57,4)	196,6 c (17,9)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd ^{ns} FO*e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Quando as concentrações de Mn foram avaliadas por regressão, observou-se que houve efeito linear na interação entre fertilizante orgânico e dose para os dois tipos de adubo orgânico (Gráfico 20). Assim como observado por Toledo (2013), a concentração de Mn nas folhas de eucalipto aumentou de acordo com o acréscimo das doses de lodo de esgoto compostado, o que, neste trabalho, também pôde ser observado no lodo que não passou pela compostagem. Apesar dos teores de Mn terem sido maiores na aplicação do lodo, principalmente nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, esses valores ainda não são considerados adequados para a cultura estudada (entre 400 e 600 mg kg⁻¹) (GONÇALVES, J.L.M; RAIJ; GONÇALVES, J.C. 1997). Porém, a dose de 50 Mg ha⁻¹ de lodo promoveu a concentração de 399,0 mg kg⁻¹ de Mn nas folhas, a qual está muito próxima do valor mínimo adequado desse nutriente para o eucalipto.

Gráfico 20 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na concentração de Mn nas folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao avaliar os outros micronutrientes, observou-se, através da análise de variância que apenas o Zn apresentou diferença entre os fertilizantes orgânicos ($p=0,019$ para o Zn, $p=0,643$ para o B, $p=0,201$ para o Cu e $p=0,885$ para o Fe). Ou seja, os perfis médios das concentrações de B, Cu e Fe foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com adubo orgânico, sendo possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico a base de lodo, independente de seu tipo (lodo ou composto), enquanto as concentrações de Zn apresentaram perfis

médios paralelos e diferentes, havendo a necessidade de estimar um modelo de resposta média para cada tipo de adubo orgânico.

Ao considerar os tratamentos adicionais, observou-se que as concentrações B ($p=0,007$), Cu ($p=0,001$) e Zn ($p=0,04$) promovidas pelos fertilizantes orgânicos foram diferentes do controle e/ou adubação inorgânica, enquanto as concentrações de Fe ($p=0,885$) não. No B e no Cu, considerando a média em cada adubação, essa diferença foi em relação à adubação inorgânica, a qual foi maior que o composto nas concentrações de B e menor que ambos os adubos orgânicos nas concentrações de Cu. E, no Zn, tanto a adubação inorgânica como o controle foram diferentes dos dois tipos de fertilizante orgânico, sendo as concentrações de Zn promovidas pela adubação inorgânica maiores que as promovidas pelos adubos a base de lodo, enquanto as concentrações promovidas pelo controle menores que as proporcionadas pelos fertilizantes orgânicos.

Tabela 20 - Concentração do boro, cobre, ferro e zinco nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

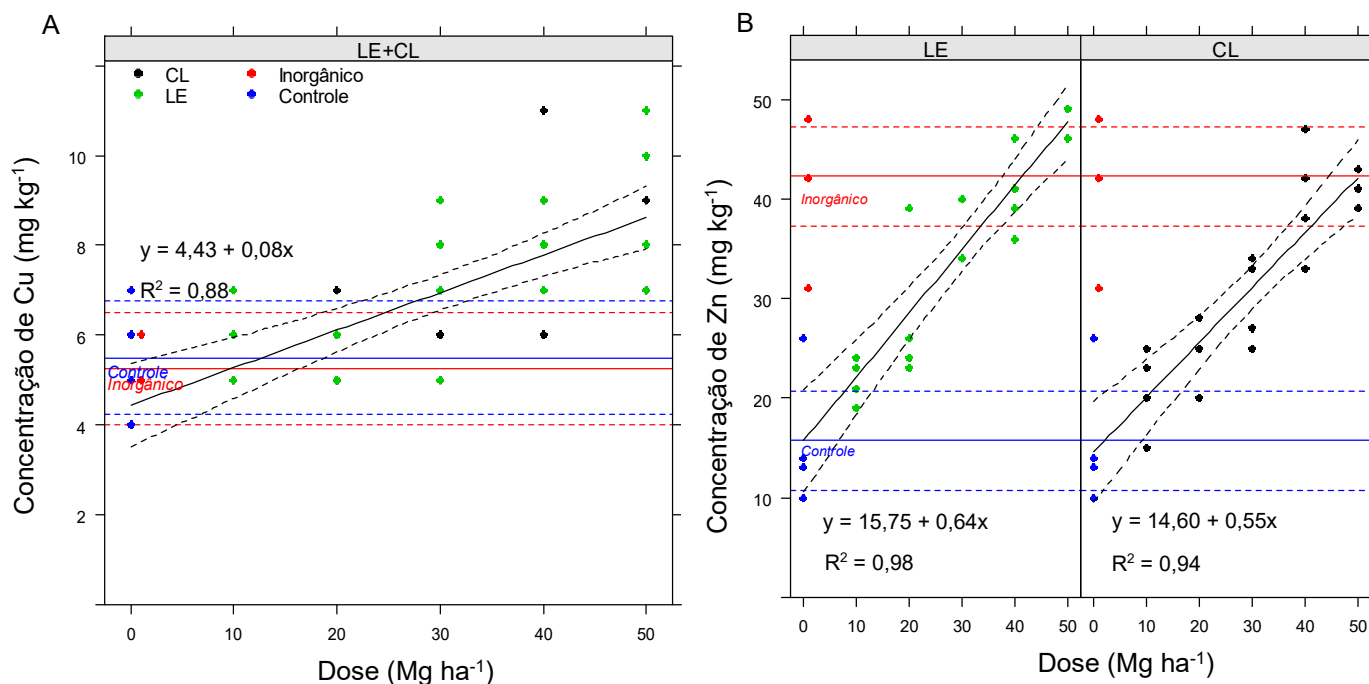
	B		Cu		Fe		Zn	
	----- mg kg ⁻¹ -----							
Controle	21,2 ab (9,4)		5,5 ab (1,3)		40,8 a (10,4)		15,8 c (7,0)	
Adubo Inorgânico	27,2 a (12,5)		5,3 c (0,5)		37,5 a (3,8)		42,3 a (8,0)	
LE	18,5 ab (4,4)		7,2 a (1,7)		38,7 a (8,7)		34,9 ab (10,1)	
CL	17,7 b (4,6)		6,7 ab (1,7)		38,6 a (8,6)		31,1 b (9,0)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	21,6 (4,6)	19,8 (5,9)	6,0 (0,8)	5,5 (0,6)	36,0 (10,8)	35,3 (6,7)	21,8 (2,2)	20,8 (4,3)
20 Mg ha ⁻¹	16,6 (3,8)	17,8 (4,8)	5,5 (0,6)	5,5 (1,0)	36,5 (14,9)	29,8 (11,5)	28,0 (7,4)	24,5 (3,3)
30 Mg ha ⁻¹	17,1 (3,1)	12,6 (1,8)	7,3 (1,7)	6,0 (0,8)	36,5 (11,1)	39,0 (1,8)	37,0 (3,5)	29,8 (4,4)
40 Mg ha ⁻¹	15,8 (4,4)	17,3 (3,1)	8,3 (0,9)	8,5 (2,1)	36,8 (10,8)	47,0 (7,1)	40,5 (4,2)	40,0 (5,9)
50 Mg ha ⁻¹	22,3 (3,8)	21,0 (2,8)	9,0 (1,8)	8,0 (1,2)	42,3 (2,8)	42,0 (2,2)	47,5 (1,7)	40,5 (1,9)
CV%:	27,9		85,8		20,6		16	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{nse} D ^{ns}		FO ^{nse} D*		FO ^{nse} D ^{ns}		FO ^{nse} D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Em relação às dosagens, o Cu ($p=0,001$) e o Zn ($p=0,001$) apresentaram diferenças entre as doses, enquanto o B ($p=0,201$) e o Fe ($p=0,309$) não. A dose de 50 Mg ha^{-1} de lodo promoveu a maior concentração de B ($22,3 \text{ mg kg}^{-1}$), ao passo que a dose de 40 Mg ha^{-1} de composto promoveu a maior concentração de Fe (47 mg kg^{-1}) nas folhas de eucalipto. Como observado na Tabela 20, tanto a concentração de B, como a de Fe, estão muito abaixo dos valores tidos como ideias ($30,0$ a $50,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para o B e $150,0$ a $200,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para o Fe) para as folhas de eucalipto (GONÇALVES, J.L.M; RAIJ; GONÇALVES, J.C. 1997).

As concentrações de Cu e Zn em relação às doses de fertilizante orgânico foram estimadas através de regressão e podem ser observadas a seguir.

Gráfico 21 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na concentração de Cu (A) e Zn (B) nas folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Os gráficos acima mostram que tanto as concentrações de Cu (Gráfico 21A), como as de Zn (Gráfico 21B) aumentaram de acordo com as doses crescentes de fertilizante a base de lodo, sendo que, para o cobre, as doses de 40 e 50 Mg ha^{-1} de lodo de adubo orgânico promoveram concentrações significativamente maiores que a

adubação inorgânica e controle, enquanto as concentrações de Zn, apesar de aumentarem em decorrência do aumento das doses e superarem o controle, não foram suficientes para superarem a adubação inorgânica. Porém, considerando que os teores adequados de Zn e Cu, para folhas de eucalipto, estão entre 35 e 50 mg kg⁻¹ e 7 e 10 mg kg⁻¹, respectivamente (GONÇALVES, J.L.M; RAIJ; GONÇALVES, J.C. 1997), as concentrações de Zn, assim como as de Cu, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo e composto de lodo, estão dentro desses valores (Tabela 20).

Ao avaliar a quantidade dos micronutrientes das folhas de eucalipto, considerando os resultados da análise de variância e dos testes de comparações múltiplas, observou-se que, assim como ocorreu nas concentrações desses nutrientes, apenas o Mn ($p < 0,002$) apresentou quantidades com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose (Tabela 21), enquanto B ($p = 0,692$), Cu ($p = 0,607$), Fe ($p = 0,389$) e Zn ($p = 0,565$) não (Tabela 22). Ou seja, as quantidades médias de B, Cu, Fe, Mn e Zn seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto, enquanto as quantidades de Mn variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado.

As quantidades de B, Cu, Fe e Zn, considerando a média da adubação, não apresentaram interação significativa entre os tipos de fertilizante orgânico ($p = 0,742$ para B, $p = 0,841$ para Cu, $p = 0,136$ para Fe e $p = 0,324$ para o Zn). Ou seja, os perfis médios das quantidades desses nutrientes foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com adubo orgânico, sendo possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico, independente de seu tipo (lodo ou composto). O B ($p = 0,115$) foi o único micronutriente que não apresentou diferença em relação aos tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para Cu, Fe, Mn e Zn). Porém, o teste de Tukey apresentou diferença da quantidade de B em relação ao controle, a qual foi menor que os outros tratamentos.

Em relação às doses, todos os micronutrientes ($p = 0,009$ para B e $p < 0,001$ para Cu, Fe e Mn) apresentaram interação significativa entre elas, podendo ser observadas no Gráfico 23.

Tabela 21 - Quantidade de manganês nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn					
----- mg planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	13,6 a (1,6)	13,7 a (2,8)	20,0 a (3,5)	23,1 a (5,9)	25,4
20 Mg ha ⁻¹	13,6 b (1,6)	13,7 b (2,8)	35,6 a (13,9)	26,6 ab (6,0)	
30 Mg ha ⁻¹	13,6 b (1,6)	13,7 b (2,8)	48,2 a (11,3)	33,3 a (12,6)	
40 Mg ha ⁻¹	13,6 b (1,6)	13,7 b (2,8)	72,3 a (15,5)	56,1 a (6,7)	
50 Mg ha ⁻¹	13,6 c (1,6)	13,7 c (2,8)	92,6 a (18,0)	49,9 b (9,2)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	<i>FOxD* FatxAd*</i> <i>FO* e D*</i>				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Tabela 22 - Quantidade de boro, cobre, ferro e zinco nas folhas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

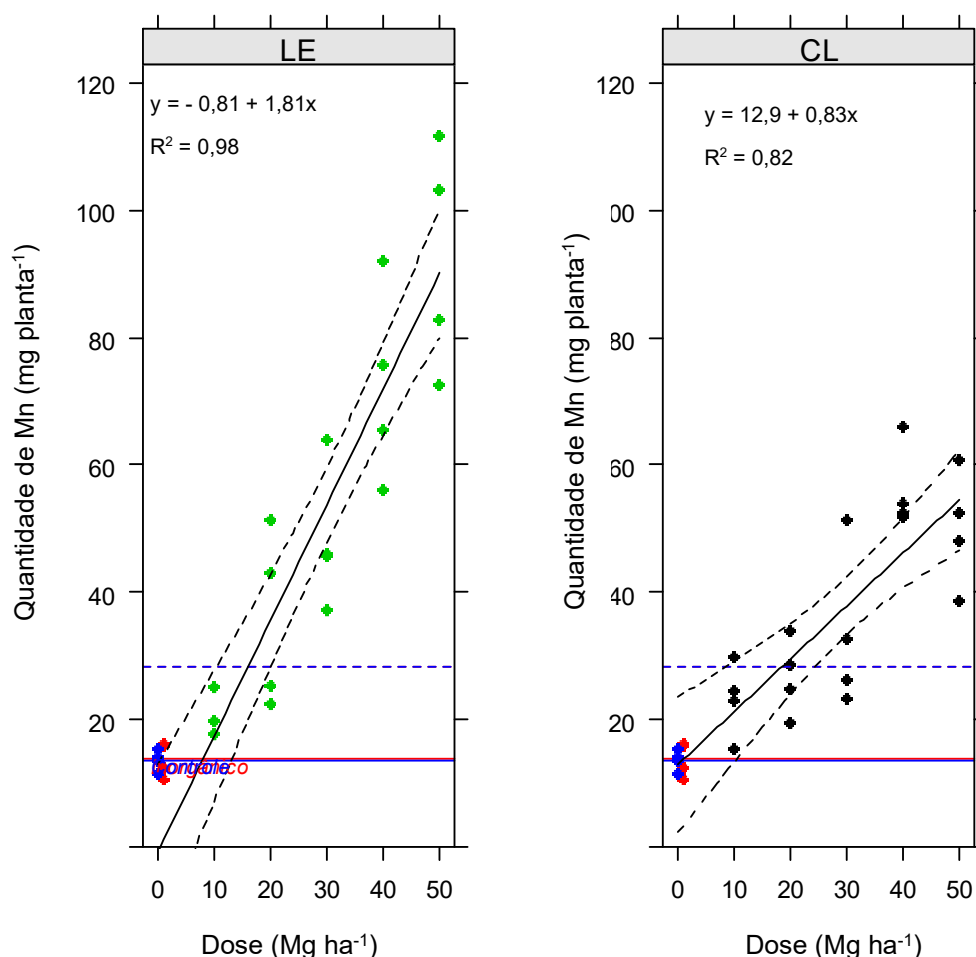
	B		Cu		Fe		Zn	
	----- mg planta-1 -----							
Controle	1,0 b (0,4)		0,3 c (0,06)		1,8 b (0,5)		0,7 b (0,3)	
Adubo Inorgânico	5,3 a (2,6)		1,0 b (0,1)		7,2 a (0,8)		8,1 a (1,4)	
LE	3,9 a (1,4)		1,4 a (0,5)		7,7 a (2,5)		7,3 a (2,8)	
CL	3,8 a (1,1)		1,4 a (0,5)		8,5 a (2,8)		7,0 a (2,9)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	3,3 (0,7)	3,1 (0,7)	0,9 (0,07)	0,9 (0,1)	5,5 (1,6)	5,7 (1,5)	3,3 (0,5)	3,4 (0,9)
20 Mg ha ⁻¹	3,2 (0,8)	3,7 (0,9)	1,1 (0,1)	1,2 (0,3)	6,9 (2,7)	6,3 (2,5)	5,4 (1,3)	5,2 (0,9)
30 Mg ha ⁻¹	3,6 (0,8)	2,8 (0,3)	1,5 (0,4)	1,3 (0,2)	7,5 (1,9)	8,6 (1,1)	7,7 (0,3)	6,5 (0,9)
40 Mg ha ⁻¹	4,9 (2,4)	4,2 (0,6)	1,9 (0,3)	1,9 (0,5)	8,6 (2,9)	11,5 (1,5)	9,4 (0,8)	9,8 (1,3)
50 Mg ha ⁻¹	4,8 (1,1)	5,3 (0,8)	1,8 (0,2)	2,1 (0,5)	9,8 (1,7)	10,6 (1,6)	10,9 (1,1)	10,3 (1,4)
CV%:	34,8		22,2		29,1		17,4	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd [*]		FOxD ^{ns} FatxAd [*]		FOxD ^{ns} FatxAd [*]	
	FO ^{ns} e D [*]		FO ^{ns} e D [*]		FO ^{ns} e D [*]		FO ^{ns} e D [*]	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Ao observar a Tabela 22, nota-se que nenhum dos nutrientes apresentou diferença entre os tipos de lodo e apenas as quantidades de Cu, promovidas pelos fertilizantes orgânicos, apresentaram diferença em relação aos dois tratamentos adicionais, enquanto a adubação com lodo de esgoto promoveu quantidades de B, Fe e Zn diferentes apenas do controle.

Quando as quantidades de Mn foram avaliadas por regressão, observou-se que houve efeito linear na interação entre fertilizante orgânico e dose para os dois tipos de adubo a base de lodo.

Gráfico 22 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Mn das folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

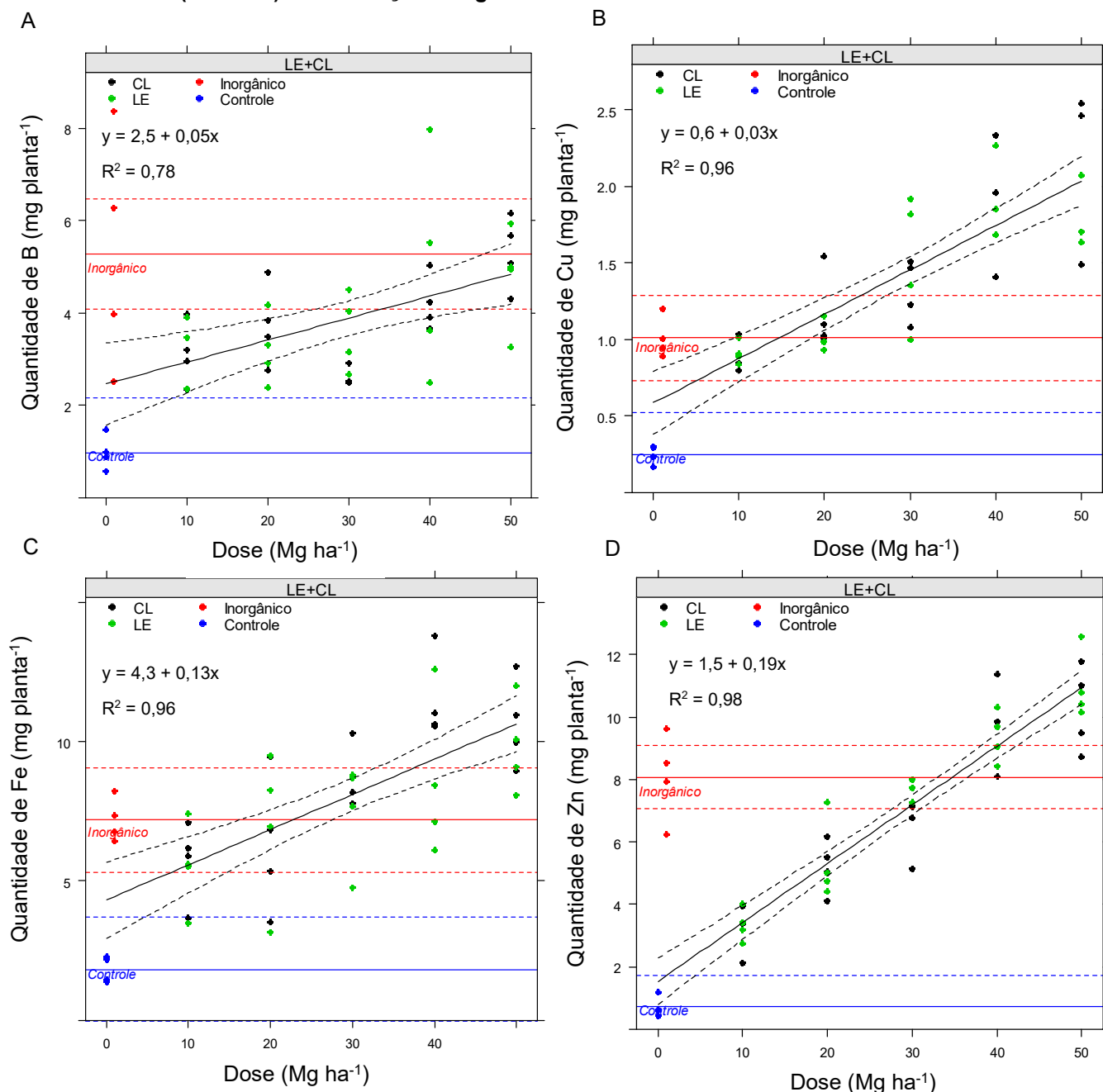
Através do Gráfico 22, foi possível constatar que as quantidades desse nutriente aumentaram em relação às doses crescentes de ambos os fertilizantes orgânicos e que, nas doses de 10, 20 e 30 Mg ha⁻¹ de composto e 10 e 20 Mg ha⁻¹ de lodo, as quantidades de Mn foram consideradas estatisticamente iguais à adubação inorgânica e controle, passando a diferenciar-se dela a partir da dose 40 Mg ha⁻¹ no composto e 30 Mg ha⁻¹ no lodo. Ou seja, o lodo precisou de uma dose menor para fornecer às plantas maiores quantidades de Mn que a adubação inorgânica. A única dose que promoveu diferença estatística, nas quantidades de Mn, entre os dois tipos de adubo orgânico foi a de 50 Mg ha⁻¹, na qual a adubação com lodo promoveu maior quantidade de Mn que a com composto, assim como quando foi avaliada a concentração desse nutriente.

Ao analisar o Gráfico 23, observa-se que as quantidades de B (Gráfico 23A), Cu (Gráfico 23B), Fe (Gráfico 23C) e Zn (Gráfico 23D) aumentaram de acordo com o acréscimo de fertilizante orgânico a base de lodo. Porém, desses nutrientes, o único que apresentou diferença em relação à adubação inorgânica foi o Cu, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹. Apesar disso, com exceção do Fe, que apresentou diferença em relação ao controle a partir da dose 30 Mg ha⁻¹, as quantidades de B, Cu e Zn promovidas pelo adubo orgânico foram maiores que o controle em todas as doses.

O fato da quantidade de B não ter superado a adubação inorgânica, igualando-se à ela apenas nas maiores doses (40 e 50 Mg ha⁻¹) de fertilizante orgânico pode ser atribuído as baixas desse nutriente no solo, como visto no item 4.2.

Mesmo havendo suplementação com Zn no tratamento inorgânico, as quantidades desse nutriente promovidas pelo adubo orgânico ficaram próximas a superar a adubação inorgânica nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹. A presença de Zn é atribuída à atividade de indústrias, que despejam seus efluentes no sistema de esgoto doméstico e, por ser um metal pesado, necessita ser monitorado quando aplicado em excesso nos ecossistemas agroflorestais (SILVA et al., 2008).

Gráfico 23 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Mn das folhas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

De modo geral, a contribuição das doses de ambos os fertilizantes orgânicos para a nutrição foliar das plantas de eucalipto foi positiva, aumentando as concentrações e quantidades da maioria dos nutrientes, de maneira proporcional ao

acréscimo das doses. O único nutriente que apresentou um pequeno decréscimo em sua concentração e quantidade nas maiores doses de adubo orgânico foi o Ca. Isso pode explicar a queda na massa seca das folhas, que também se apresentou sutil na maior dose de lodo e uma tendência em doses acima de 50 Mg ha⁻¹ no composto. A principal função do cálcio na planta é manter a integridade da parede celular (MALAVOLTA, 1980), atuando na estrutura da mesma. Se há diminuição de Ca nas folhas há também diminuição de massa, pois se a quantidade de Ca é afetada, a estrutura da planta também é, interferindo na quantidade de massa seca que ela produz. Porém, esse decréscimo não impediu que as quantidades desse nutriente, nas folhas, ficassem próximas de superar a adubação inorgânica.

Portanto, o acréscimo de doses de lodo de composto e de lodo promoveu maiores quantidades de nutrientes às folhas de eucalipto em relação ao controle e quantidades iguais ou maiores que a adubação inorgânica, sendo as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ as que apresentaram os melhores resultados.

4.3.2 Quantidade de nutrientes nos galhos e caule

Ao avaliar os macronutrientes dos galhos e caules do eucalipto, observou-se que o N, P e K apresentaram quantidades com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p < 0,001$ para N e P e $p = 0,004$ para K) (Tabela 23), enquanto Ca ($p = 0,246$), Mg ($p = 0,07$) e S ($p = 0,347$) (Tabela 24) não, mostrando que as quantidades médias de Ca, Mg e S seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto, enquanto as concentrações de N, P e K variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado.

Para o NPK, de acordo com a análise de variância, os lodos promoveram quantidades diferentes dos tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para os três). Através do teste de Tukey pôde-se observar que, para os três nutrientes, as quantidades promovidas pelos fertilizantes orgânicos diferenciaram-se do controle em todas as doses, enquanto que, em relação à adubação inorgânica, as diferenças aparecem a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ no N, 20 Mg ha⁻¹ no P e 40 Mg ha⁻¹ no K.

Tabela 23 - Quantidade nitrogênio, fósforo e potássio nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

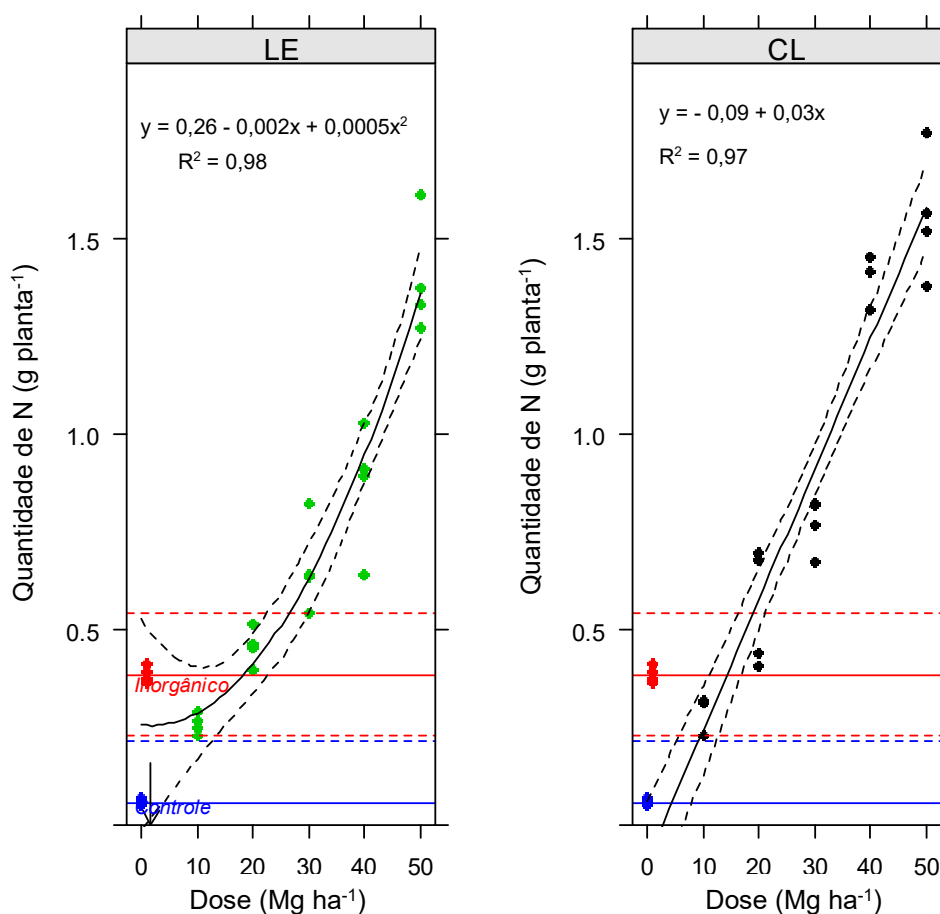
N					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,06 b (0,008)	0,4 a (0,02)	0,3 a (0,02)	0,3 a (0,04)	2,8
20 Mg ha ⁻¹	0,06 b (0,008)	0,4 a (0,02)	0,5 a (0,05)	0,6 a (0,2)	
30 Mg ha ⁻¹	0,06 c (0,008)	0,4 b (0,02)	0,7 a (0,1)	0,8 a (0,07)	
40 Mg ha ⁻¹	0,06 d (0,008)	0,4 c (0,02)	0,9 b (0,2)	1,4 a (0,07)	
50 Mg ha ⁻¹	0,06 c (0,008)	0,4 b (0,02)	1,4 a (0,2)	1,6 a (0,2)	
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				
P					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,005 b (0,0002)	0,05 a (0,02)	0,06 a (0,009)	0,08 a (0,0004)	2,1
20 Mg ha ⁻¹	0,005 c (0,0002)	0,05 b (0,02)	0,09 a (0,008)	0,12 a (0,006)	
30 Mg ha ⁻¹	0,005 d (0,0002)	0,05 c (0,02)	0,10 b (0,02)	0,19 a (0,03)	
40 Mg ha ⁻¹	0,005 d (0,0002)	0,05 c (0,02)	0,12 b (0,02)	0,25 a (0,04)	
50 Mg ha ⁻¹	0,005 d (0,0002)	0,05 c (0,02)	0,15 b (0,02)	0,28 a (0,04)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				
K					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Testemunha	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	0,1 b (0,01)	0,8 a (0,08)	0,7 a (0,06)	0,6 a (0,09)	13,3
20 Mg ha ⁻¹	0,1 b (0,01)	0,8 a (0,08)	0,7 a (0,1)	0,9 a (0,1)	
30 Mg ha ⁻¹	0,1 b (0,01)	0,8 a (0,08)	0,6 a (0,09)	0,8 a (0,07)	
40 Mg ha ⁻¹	0,1 c (0,01)	0,8 b (0,08)	0,7 b (0,09)	1,1 a (0,1)	
50 Mg ha ⁻¹	0,1 c (0,01)	0,8 b (0,08)	0,7 b (0,1)	1,0 a (0,07)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Quando as quantidades de NPK foram avaliadas por regressão, observou-se que, para as concentrações de N, houve efeito linear na interação entre composto e dose e efeito quadrático na interação entre lodo e dose, enquanto que, para P e K, o efeito para essa interação foi linear nos dois tipos de adubo orgânico (Tabela 23).

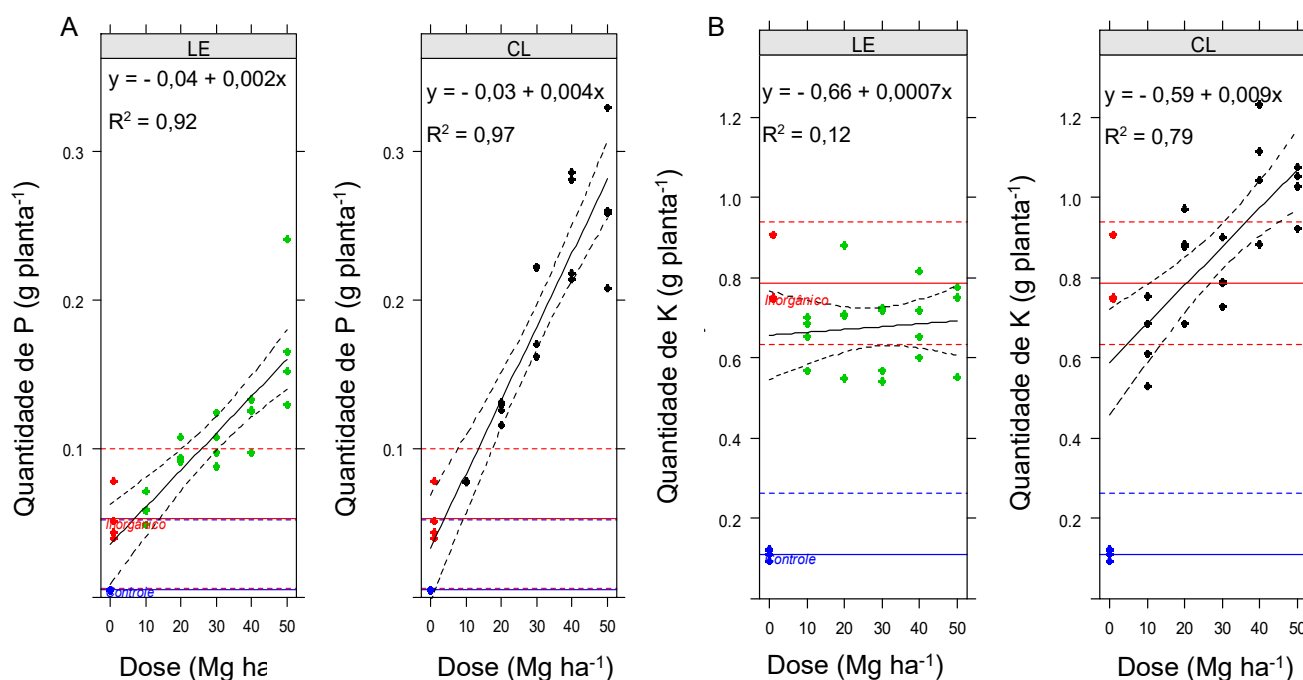
Segundo os gráficos de regressão, o acréscimo das doses de composto e de lodo promoveu aumento nas quantidades médias de NPK dos galhos e caule das plantas de eucalipto (Gráficos 24 e 25). No caso do N, o aumento da quantidade promovido pelo composto aproximou-se do promovido pelo lodo, o que não ocorreu nas quantidades de P e K, que foram consideravelmente menores no lodo.

Gráfico 24 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de N dos galhos e caule de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Gráfico 25 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de P (A) e K (B) dos galhos e caule de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

As quantidades de N e P diferenciaram-se da adubação inorgânica a partir da dose 30 e 20 Mg ha⁻¹, respectivamente, em ambos os fertilizantes orgânicos, enquanto as de K diferenciaram-se apenas nas doses 40 e 50 Mg ha⁻¹ de composto, igualando-se a adubação inorgânica em todas as doses de lodo. Ao observar os Gráficos 25A e 25B, percebe-se que o composto promoveu quantidades de P e K nos galhos e caule notavelmente maiores que o lodo.

Ao considerar as adubações médias, foi possível observar que houve diferença nas quantidades de Ca, Mg e S promovidas pelos fertilizantes orgânicos em relação aos tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para todos). Também houve diferença, em relação aos tipos de adubo orgânico, nas quantidades desses três nutrientes ($p < 0,001$ para os três), em que o composto promoveu quantidades estatisticamente maiores de Ca, Mg e S que o lodo (Tabela 24).

Tabela 24 - Quantidade cálcio, magnésio e enxofre nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	Ca		Mg		S	
	----- g kg ⁻¹ -----					
Controle	0,2 c (0,02)		0,04 c (0,003)		0,02 d (0,002)	
Adubo Inorgânico	1,1 d (0,1)		0,32 a (0,07)		0,12 c (0,04)	
LE	1,4 b (0,4)		0,25 b (0,06)		0,18 b (0,05)	
CL	1,6 a (0,4)		0,32 a (0,08)		0,21 a (0,06)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	0,9 (0,1)	1,0 (0,1)	0,19 (0,006)	0,17 (0,02)	0,11 (0,008)	0,13 (0,009)
20 Mg ha ⁻¹	1,4 (0,04)	1,5 (0,2)	0,28 (0,04)	0,22 (0,01)	0,16 (0,01)	0,18 (0,03)
30 Mg ha ⁻¹	1,4 (0,2)	1,8 (0,2)	0,35 (0,01)	0,25 (0,02)	0,18 (0,01)	0,21 (0,01)
40 Mg ha ⁻¹	1,6 (0,3)	1,8 (0,1)	0,39 (0,04)	0,28 (0,04)	0,22 (0,02)	0,27 (0,01)
50 Mg ha ⁻¹	1,7 (0,4)	2,0 (0,2)	0,42 (0,03)	0,30 (0,06)	0,23 (0,04)	0,28 (0,02)
Média	16,1		24,7		17,5	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO*e D*		FO* e D*		FO* e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

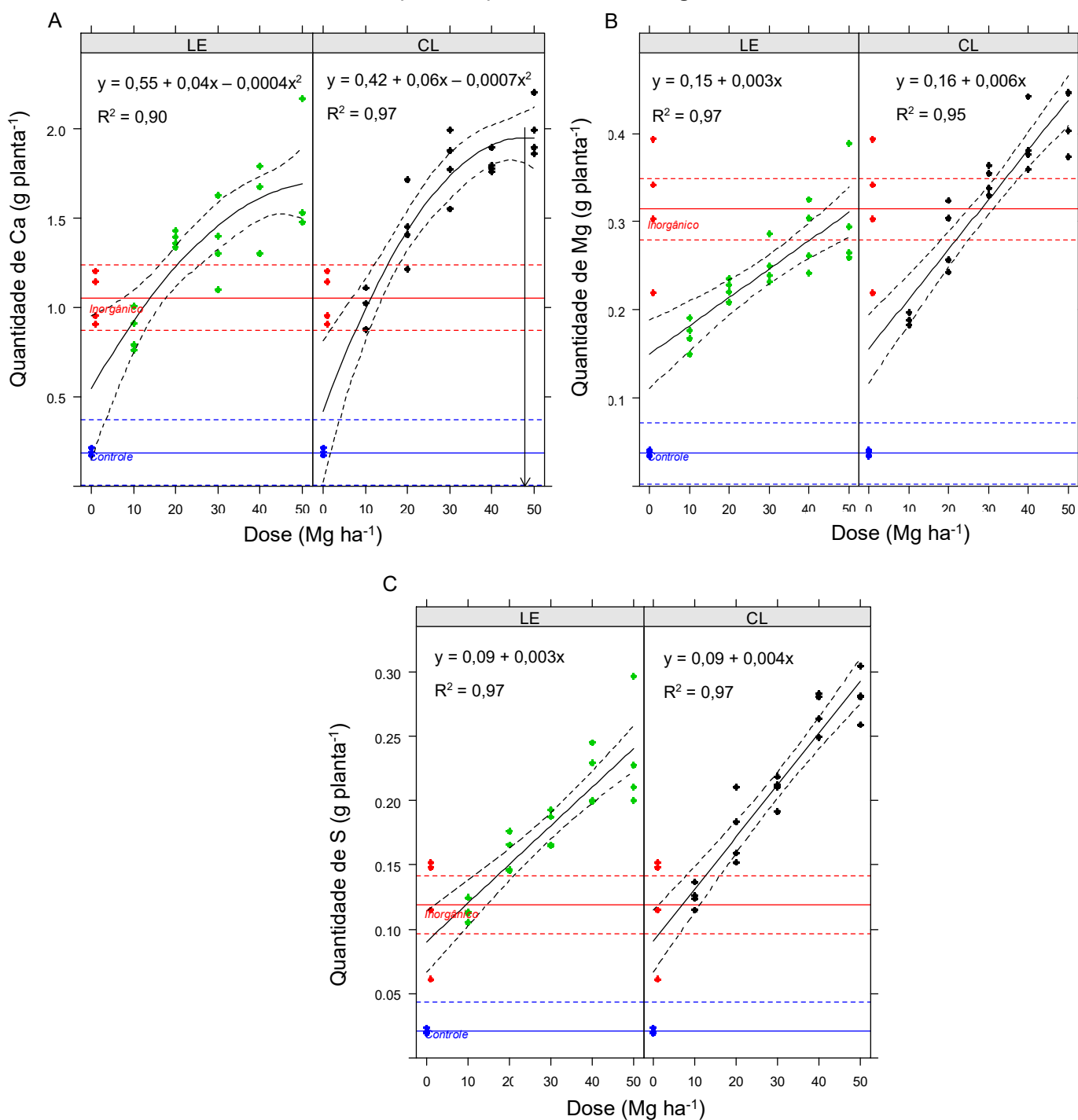
Em relação às doses, as quantidades de Ca, Mg e S apresentaram diferenças significativas entre elas ($p < 0,001$ para todos). Uma vez que houve interação entre as quantidades desses nutrientes em relação às doses e entre os tipos de adubo orgânico, foi possível estimar um modelo de regressão de resposta média para cada tipo de fertilizante orgânico, em cada um dos nutrientes (Gráfico 26).

Assim como observado nas folhas, as quantidades de Ca aumentaram de acordo com o aumento das doses de fertilizante orgânico a base de lodo, porém, apresentaram uma pequena queda a partir das doses de 48 e 56 Mg ha⁻¹ para composto e lodo, respectivamente, enquanto o aumento das quantidades de Mg e S foi linear, sendo maior de acordo com a maior dose de adubo orgânico aplicada.

Para Ca e S, a única dose, de ambos os fertilizantes orgânicos, que não promoveu quantidades diferentes da adubação inorgânica foi a de 10 Mg ha⁻¹, enquanto que, para o Mg apenas as doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de composto promoveram quantidades desse nutriente maiores que a fertilização inorgânica nos

galhos e caule de eucalipto, ao passo que as doses de lodo não foram suficientes para superar esse tratamento adicional.

Gráfico 26 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Ca (A), Mg (B) e S (C) dos galhos e caule de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Em relação aos micronutrientes dos galhos e caule de eucalipto, observou-se que, assim como nas folhas, apenas o Mn apresentou quantidades com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p=0,0005$) (Tabela 25), enquanto B ($p=0,211$), Cu (0,152), Fe (0,616) e Zn ($p=0,196$) não (Tabela 26), mostrando que as quantidades médias de B, Cu, Fe e Zn seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto, enquanto as concentrações de Mn variaram de acordo com as doses e com o tipo de adubo orgânico utilizado.

Através da análise de variância observou-se que as quantidades de B ($p<0,001$), Cu ($p<0,001$), Zn ($p=0,024$) e Mn ($p=0,004$) apresentaram diferenças entre os tipos de fertilizante orgânico, enquanto as de Fe ($p=0,851$) não. Ou seja, o perfil médio das quantidades de Fe foi paralelo e coincidente, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com adubo orgânico a base de lodo, sendo possível estimar um modelo de resposta média para a adubação com adubo orgânico, independente de seu tipo (composto ou lodo), enquanto as quantidades de B, Cu, Zn e Mn apresentaram perfis médios paralelos e diferentes, havendo a necessidade de estimar um modelo de resposta média para cada tipo de fertilizante orgânico. Esses modelos foram estimados quando houve efeito nas doses, caso das quantidades de B, Cu, Mn e Zn ($p<0,001$ para todos) (Gráfico 27), uma vez que as de Fe ($p=0,866$) não apresentaram esse efeito.

As quantidades de B, Cu, Mn e Zn ($p<0,001$ para os quatro) promovidas pelos fertilizantes orgânicos apresentaram diferenças significativas em relação aos tratamentos adicionais, enquanto as de Fe ($p=0,184$) não. Para as quantidades de B, o composto foi maior que a adubação inorgânica, enquanto o lodo não. Para o Cu os dois tipos de adubo orgânico apresentaram quantidades acima da adubação inorgânica. E, em relação ao Zn, a fertilização inorgânica superou as quantidades promovidas pelo lodo e pelo composto. Apesar da ANOVA não ter apontado diferença das quantidades de Fe em relação aos tratamentos adicionais, o teste de Tukey apresentou diferença em relação ao controle, a qual foi menor que todos os outros tratamentos.

Tabela 25 - Quantidade manganês nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn					
----- mg planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	8,1 c (0,7)	18,5 b (0,8)	27,3 ab (1,2)	29,3 a (3,0)	12,2
20 Mg ha ⁻¹	8,1 c (0,7)	18,5 b (0,8)	38,3 a (2,5)	38,4 a (3,8)	
30 Mg ha ⁻¹	8,1 c (0,7)	18,5 b (0,8)	47,5 a (4,9)	47,9 a (7,3)	
40 Mg ha ⁻¹	8,1 c (0,7)	18,5 b (0,8)	69,3 a (7,5)	61,5 a (7,7)	
50 Mg ha ⁻¹	8,1 d (0,7)	18,5 c (0,8)	82,4 a (4,9)	61,3 b (9,6)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	

FV:

FOxD FatxAd**

FO e D**

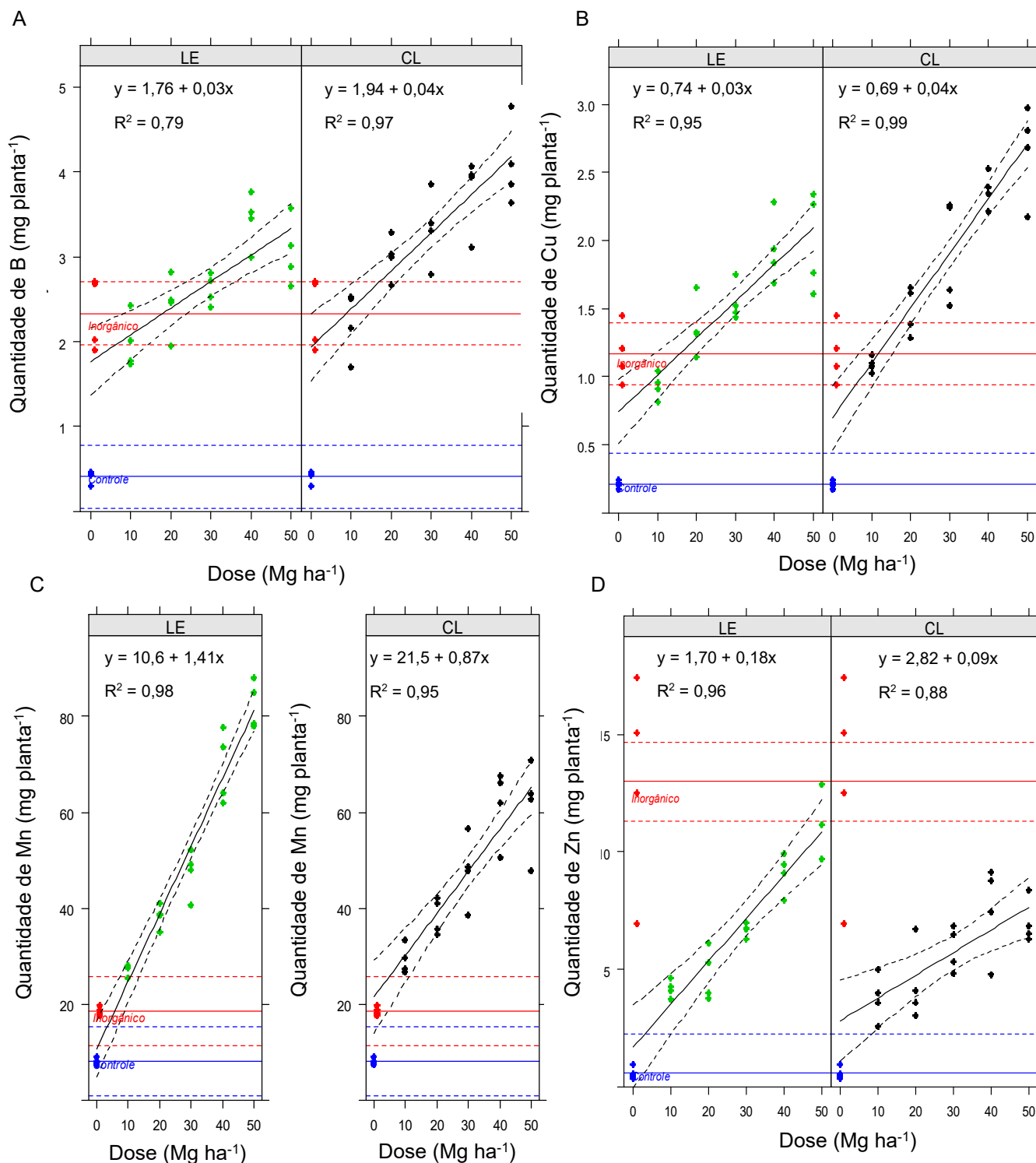
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Tabela 26 - Quantidade boro, cobre, ferro e zinco nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

B		Cu		Fe		Zn	
----- mg planta ⁻¹ -----							
0,4 c (0,07)		0,2 d (0,03)		3,4 b (2,6)		0,6 c (0,3)	
2,3 b (0,4)		1,2 c (0,2)		20,9 a (13,0)		12,9 a (4,5)	
2,7 b (0,6)		1,6 b (0,5)		15,4 a (5,0)		6,9 b (2,7)	
3,3 a (0,8)		1,9 a (0,6)		15,0 a (3,6)		5,7 b (1,9)	
LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
1,9 (0,3)	2,2 (0,4)	0,9 (0,09)	1,1 (0,05)	16,4 (6,1)	10,8 (2,6)	4,2 (0,4)	3,8 (1,0)
2,4 (0,4)	2,9 (0,3)	1,4 (0,2)	1,5 (0,2)	13,6 (7,1)	17,5 (2,5)	4,8 (1,1)	4,4 (1,6)
2,6 (0,2)	3,3 (0,4)	1,5 (0,1)	1,9 (0,4)	14,9 (5,4)	14,7 (1,8)	6,7 (0,3)	5,9 (0,9)
3,4 (0,3)	3,8 (0,4)	1,9 (0,3)	2,4 (0,1)	16,4 (3,2)	17,1 (3,9)	9,1 (0,8)	7,6 (1,9)
3,1 (0,4)	4,1 (0,5)	1,9 (0,4)	2,7 (0,3)	15,8 (4,5)	16,2 (3,0)	11,3 (1,6)	7,0 (0,9)
16,5		18,8		42,3		26	
FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
FO*e D*		FO*e D*		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO*e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas nas colunas diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Gráfico 27 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de B (A), Cu (B), Mn (C) e Zn (D) dos galhos e caule de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Quando as quantidades de Mn foram avaliadas por regressão, observou-se que houve efeito linear na interação entre os dois tipos de adubo orgânico e as doses (Gráfico 27C). Através do gráfico, foi possível observar que as quantidades de Mn nos galhos e caule do eucalipto aumentaram de acordo com o acréscimo das doses de composto e de lodo, havendo as maiores quantidades nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de ambos os fertilizantes orgânicos. Além disso, as quantidades promovidas pelos dois adubos foram maiores que o controle e adubação inorgânica em todas as doses. Assim como nas folhas, a quantidade de Mn nos galhos e caule foram maiores em plantas adubadas com lodo que em plantas adubadas com composto, porém, neste caso, ao comparar esses dois fertilizantes, houve menos diferença no acúmulo de Mn em relação às folhas.

Tal como no Mn, as quantidades de B, Cu e Zn aumentaram conforme as doses dos dois adubos orgânicos foram aumentadas. No caso do B, as quantidades promovidas, desse nutriente, pelo composto, foram maiores que a adubação inorgânica a partir da dose 20 Mg ha⁻¹, enquanto que, para o lodo, isso só foi possível nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ (Gráfico 27A). Para o Cu, as quantidades promovidas pelos dois fertilizantes orgânicos foram maiores que a adubação inorgânica a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ (Gráfico 27B). Em relação ao Zn, apesar de o lodo ter promovido maior quantidade desse nutriente em relação ao composto, as doses de ambos os adubos orgânicos não foram suficientes para que as quantidades de Zn superassem a fertilização inorgânica, ficando abaixo dela em todas as doses (Gráfico 27D). Porém, para esses quatro micronutrientes, tanto o composto como o lodo promoveram quantidades acima do controle em todas as doses aplicadas.

De maneira geral, a contribuição das doses de ambos os adubos orgânicos para a nutrição dos galhos e caule das plantas de eucalipto foi positiva, aumentando as quantidades de todos os nutrientes, de maneira proporcional ao acréscimo das doses aplicadas. Assim como nas folhas, o Ca foi o único nutriente que apresentou decréscimo em sua quantidade, nas maiores doses de fertilizante orgânico. É importante ressaltar que esse decréscimo é pequeno e ocorreu em dose muito próxima de 50 Mg ha⁻¹ no composto e em dose acima de 50 Mg ha⁻¹ no lodo, as quais superaram a adubação inorgânica, indicando que a dose de 50 Mg ha⁻¹ pode ser

aplicada, sem trazer prejuízo significativo à estrutura, e consequente produção de massa seca, desses compartimentos das plantas.

Portanto, o acréscimo de doses de lodo de esgoto e composto de lodo promoveu maiores quantidades de nutrientes aos galhos e caules de eucalipto e as doses que apresentaram os melhores resultados foram as de 40 e 50 Mg ha⁻¹.

4.3.3 Quantidade de nutrientes nas raízes

Ao avaliar os macronutrientes das raízes do eucalipto, observou-se que nenhum deles apresentou quantidades com interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p=0,812$, $p=0,881$, $p=0,429$, $p=0,074$, $p=0,938$ e $p=0,861$ para N, P, K, Ca, Mg e S, respectivamente). Ou seja, as quantidades médias de todos os macronutrientes da raiz seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto, sendo que os perfis médios das quantidades de N, P, Ca, Mg e S foram paralelos e coincidentes, não apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com fertilizante orgânico ($p=0,278$, $p=0,565$, $p=0,269$, $p=0,657$, $p=0,515$, respectivamente), enquanto o perfil médio das quantidades de K foi paralelo e diferente, apresentando diferenças significativas entre as respostas médias das adubações com adubo orgânico ($p=0,022$).

Como as quantidades de N, P, K, Ca e S ($p<0,001$ para N, P, Ca e S e $p=0,20$ para K) apresentaram efeito nas doses, foi possível, para esses nutrientes, estimar um modelo de regressão para as quantidades em relação às doses. No caso do N, P, Ca e S, o modelo foi de resposta média para a adubação com fertilizante orgânico a base de lodo, independente de seu tipo (compostado ou não), já que os mesmos não apresentaram diferença entre os adubos orgânicos, enquanto que, para K, foi estimado um perfil de resposta para o lodo e para o composto. As quantidades de Mg não apresentaram efeito na doses ($p=0,294$), não sendo possível estimar um modelo de regressão para esse nutriente.

Para o N, P, K, Ca e S, de acordo com a análise de variância e considerando as médias em cada adubação, os fertilizantes orgânicos promoveram quantidades diferentes dos tratamentos adicionais ($p<0,001$ para todos), o que não ocorreu com Mg ($p=0,820$). Apesar das quantidades de Mg promovidas por ambos os adubos

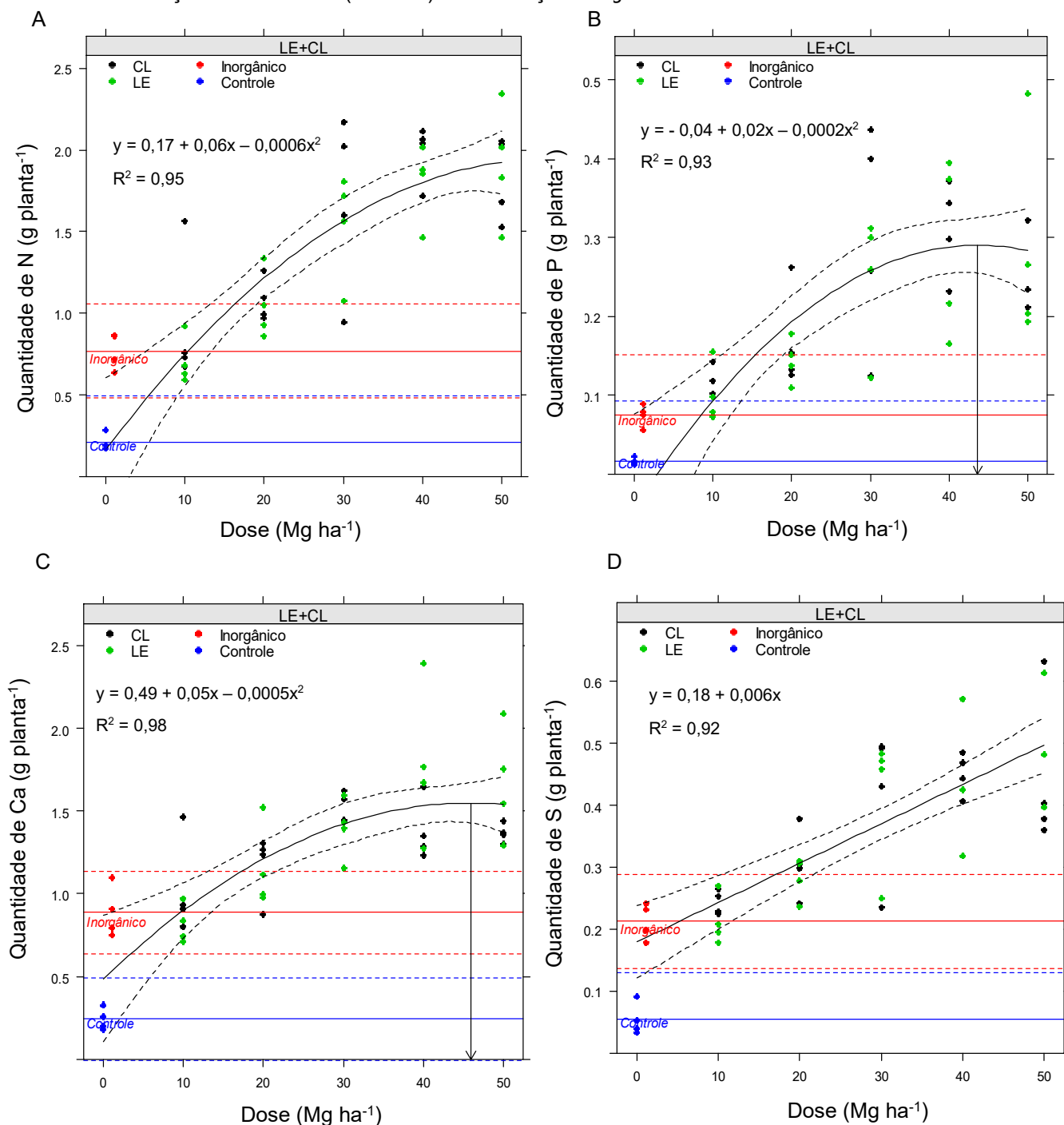
orgânicos terem sido consideradas semelhantes ao controle, o teste de Tukey apresentou diferença em relação à adubação inorgânica, a qual promoveu maior quantidade desse nutriente que os adubos orgânicos. Para todos os outros macronutrientes, os dois tipos de fertilizante orgânicos promoveram maiores quantidades de nutrientes em comparação aos dois tratamentos adicionais (Tabela 27).

Tabela 27 - Quantidade nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	----- g planta ⁻¹ -----											
Controle	0,2 c (0,05)		0,02 b (0,004)		0,14 c (0,05)		0,2 c (0,1)		0,18 b (0,1)		0,05 c (0,02)	
Adubo Inorgânico	0,8 b (0,1)		0,07 b (0,01)		0,58 b (0,3)		0,9 b (0,2)		0,59 a (0,4)		0,21 b (0,03)	
LE	1,4 a (0,5)		0,21 a (0,11)		0,86 a (0,2)		1,36 a (0,4)		0,36 b (0,1)		0,36 a (0,1)	
CL	1,5 a (0,5)		0,23 a (0,10)		1,00 a (0,2)		1,3 a (0,2)		0,38 b (0,1)		0,37 a (0,1)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	0,7 (0,2)	0,9 (0,4)	0,10 (0,04)	0,11 (0,02)	0,63 (0,1)	0,87 (0,2)	0,8 (0,1)	1,0 (0,3)	0,24 (0,1)	0,33 (0,1)	0,21 (0,04)	0,24 (0,02)
20 Mg ha ⁻¹	1,0 (0,2)	1,1 (0,1)	0,14 (0,03)	0,17 (0,06)	0,79 (0,1)	1,02 (0,2)	1,2 (0,3)	1,2 (0,2)	0,35 (0,1)	0,35 (0,03)	0,28 (0,03)	0,30 (0,06)
30 Mg ha ⁻¹	1,5 (0,3)	1,7 (0,6)	0,25 (0,09)	0,30 (0,14)	0,85 (0,2)	0,97 (0,3)	1,4 (0,2)	1,5 (0,2)	0,38 (0,1)	0,41 (0,1)	0,41 (0,1)	0,41 (0,1)
40 Mg ha ⁻¹	1,8 (0,2)	1,9 (0,2)	0,29 (0,11)	0,31 (0,06)	0,96 (0,2)	1,16 (0,2)	1,8 (0,5)	1,4 (0,2)	0,42 (0,1)	0,41 (0,1)	0,44 (0,1)	0,45 (0,03)
50 Mg ha ⁻¹	1,9 (0,4)	1,8 (0,3)	0,29 (0,13)	0,25 (0,06)	1,06 (0,1)	0,98 (0,2)	1,7 (0,3)	1,4 (0,1)	0,42 (0,1)	0,41 (0,1)	0,49 (0,1)	0,44 (0,13)
CV%:	29,4		59,2		29,0		24,9		36,6		32,1	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Gráfico 28 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de N (A), P (B), Ca (C) e S (D) das raízes de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao analisar os Gráficos 28A e 28B, observa-se que as quantidades de N e P nas raízes aumentaram de acordo com o aumento das doses de fertilizante orgânico, sofrendo uma leve queda na dose de 50 e 44 Mg ha⁻¹ de lodo, respectivamente. O que pode explicar essa pequena queda na quantidade desses nutrientes nas raízes é que eles são móveis na planta, sendo transloucados para outros compartimentos das plantas que atingiram maior desenvolvimento, caso das que foram adubadas com maior quantidade de adubo orgânico. Isso pode ser evidenciado ao lembrar que as quantidades de N e P nas folhas, galhos e caule aumentaram linearmente de acordo com as doses de resíduo aplicadas, ficando claro que essa queda ocorre, provavelmente, porque o N e P estão sendo transloucados das raízes para as folhas, galhos e caule dos eucaliptos que atingiram maior desenvolvimento. Apesar da queda, esses dois nutrientes foram apresentados em maiores quantidades que o controle, em todas as doses de fertilizante orgânico, e que adubação inorgânica a partir da dose 30 Mg ha⁻¹.

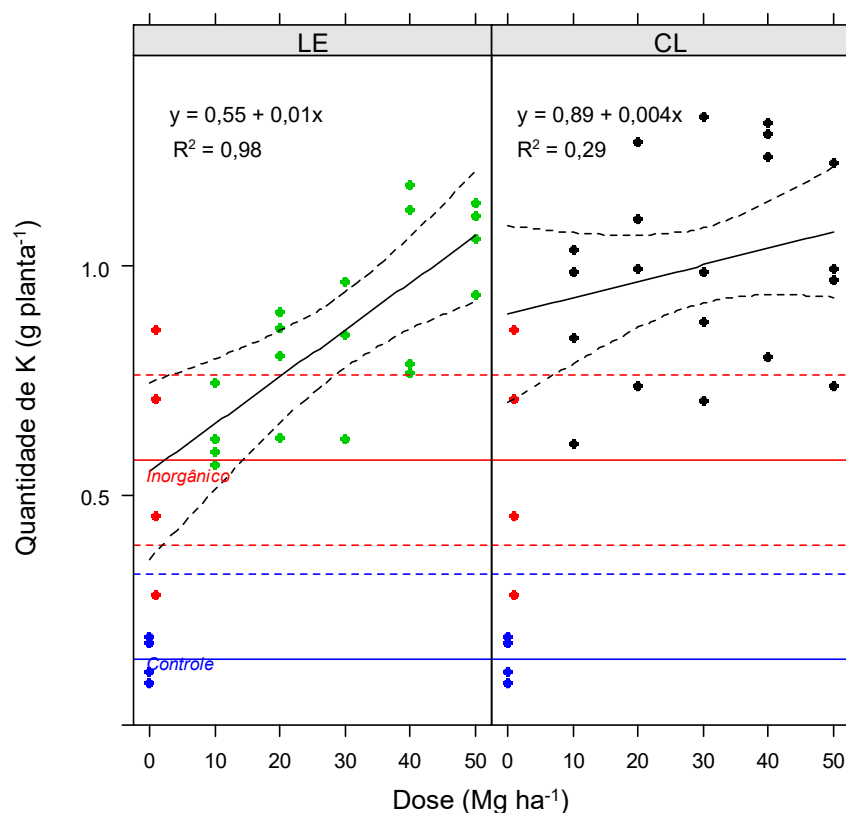
Diferente das quantidades de N e P, que apresentaram comportamento diferente na raiz, quando comparadas às outras partes das plantas, as quantidades de Ca seguiram o mesmo padrão em todos os compartimentos avaliados, aumentando conforme as doses de adubo orgânico a base de lodo foram aumentadas, apresentando uma queda nas maiores doses (Gráfico 28C). Mesmo havendo essa leve queda, as quantidades de Ca foram apresentadas em maiores quantidades que o controle, em todas as doses de fertilizante orgânico, e que a fertilização inorgânica a partir da dose 30 Mg ha⁻¹.

Assim como as quantidades de Ca, as de S também seguiram o mesmo padrão em todos os compartimentos das plantas, porém, no caso do S, o padrão foi de aumento linear de acordo com o aumento das doses de resíduos aplicadas (Gráfico 28D). Na raiz, as quantidades de S promovidas pelo adubo orgânico foram maiores que o controle em todas as doses e maiores que a adubação inorgânica a partir da dose 30 Mg ha⁻¹.

Em relação às quantidades de K nas raízes do eucalipto, observou-se que a quantidade desse nutriente aumenta de acordo com o aumento das doses de fertilizante orgânico aplicadas, sendo que o composto promoveu quantidades maiores que a adubação inorgânica a partir da dose 10 Mg ha⁻¹ e o lodo apenas nas doses de

40 e 50 Mg ha⁻¹ (Gráfico 29). Porém, as quantidades de K foram maiores que o controle em todas as doses, tanto no composto quanto no lodo. Ou seja, a suplementação de K nos dois tipos de adubo orgânico a base de lodo foi importante, pois, assim, eles puderam disponibilizar às raízes quantidades de K iguais ou maiores que a adubação inorgânica.

Gráfico 29 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de K das raízes de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao avaliar quantidade de micronutrientes das raízes, observou-se que apenas o Mn ($p=0,010$) apresentou interação significativa entre fertilizante orgânico e dose (Tabela 28) enquanto B ($p=0,190$), Cu ($p=0,924$), Fe ($0,938$) e Zn ($0,270$) não (Tabela 29), mostrando que as quantidades médias de Mn variaram de acordo com as doses e os tipos de adubo orgânico, enquanto os outros micronutrientes seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto. No caso do Zn, esse perfil foi diferente, pois houve diferença nas quantidades desse nutriente, entre os tipos de

fertilizante orgânico ($p < 0,001$), o que não ocorreu nas quantidades de B ($p = 0,838$), Cu (0,629) e Fe (0,859), os quais, então, apresentaram um perfil coincidente.

Apenas o Zn ($p = 0,137$), considerando as médias de adubação, não apresentou diferenças significativas entre os adubos orgânicos e os tratamentos adicionais, ao passo que os outros apresentaram essa diferença ($p < 0,001$ para B, Cu e $p = 0,004$ para Fe).

No caso do Mn, essa diferença, em relação ao controle aparece em todas as doses de resíduos aplicadas, o que, na adubação inorgânica, ocorre apenas nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, sendo que a última foi a única que apresentou diferença entre os tipos de fertilizante orgânico, com o lodo sendo maior que o composto (Tabela 28).

Tabela 28 - Quantidade manganês nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn					
----- mg planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	2,9 b (1,5)	9,8 a (1,8)	10,3 a (1,6)	13,3 a (5,4)	
20 Mg ha ⁻¹	2,9 b (1,5)	9,8 a (1,8)	12,3 a (2,9)	12,5 a (2,6)	
30 Mg ha ⁻¹	2,9 b (1,5)	9,8 a (1,8)	14,0 a (2,8)	12,8 a (2,2)	23,6
40 Mg ha ⁻¹	2,9 c (1,5)	9,8 b (1,8)	19,0 a (3,6)	13,7 ab (2,1)	
50 Mg ha ⁻¹	2,9 c (1,5)	9,8 b (1,8)	21,1 a (4,8)	13,5 b (2,4)	
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear	
FV:	<i>FOxD* FatxAd*</i>				
	<i>FO* e D*</i>				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). * = significativo a 5% e ns = não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Para os outros micronutrientes, considerando as médias de adubação, apenas o Zn apresentou diferença entre os tipos de adubo orgânico, sendo que o lodo apresentou maiores quantidades desse nutriente, as quais foram consideradas semelhantes às promovidas pela adubação inorgânica. As quantidades de Zn, nas raízes, em plantas adubadas com o composto, apesar de serem menores que as adubadas com fertilização inorgânica, foram maiores que o controle. As quantidades

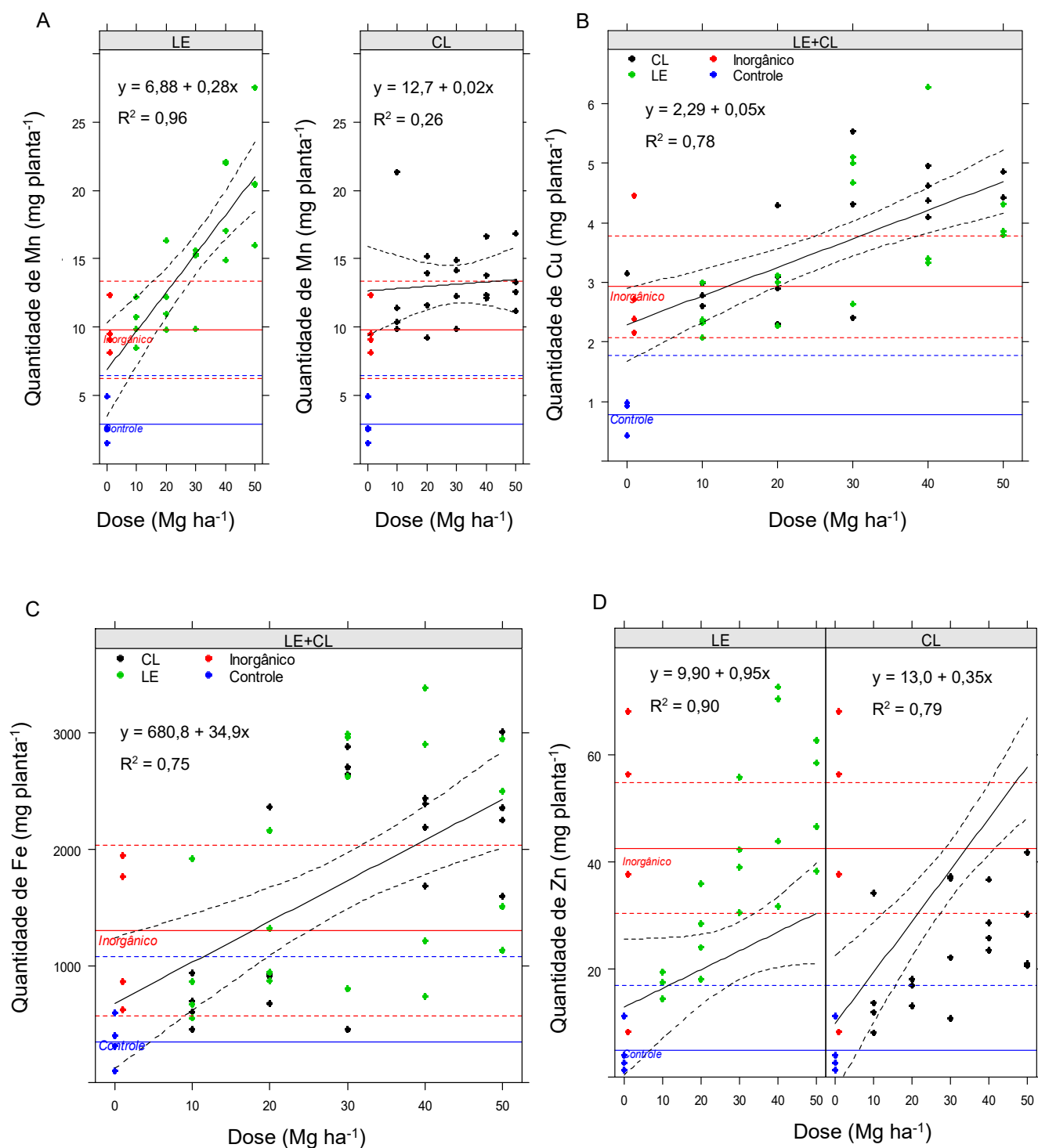
de B, Cu, Fe e Zn promovidas pelos dois tipos de fertilizantes orgânicos foram semelhantes à adubação inorgânica e diferentes e maiores que o controle.

Tabela 29 - Quantidade boro, cobre, ferro e zinco nas raízes do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	B		Cu		Fe		Zn	
	----- mg planta ⁻¹ -----							
Controle	1,2 b (0,4)		0,8 b (0,3)		349,3 b (206,2)		4,9 c (4,5)	
Adubo Inorgânico	9,0 a (4,2)		2,9 a (1,1)		1300,4 ab (652,3)		42,6 a (26,0)	
LE	8,4 a (2,8)		3,5 a (1,2)		1749,9 a (961,1)		38,5 a (17,9)	
CL	8,3 a (2,2)		3,7 a (1,0)		1706,7 a (905,6)		23,5 b (10,1)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	6,1 (1,4)	6,2 (1,4)	2,4 (0,4)	2,7 (0,3)	1001,6 (624,6)	673,7 (201,9)	17,8 (2,4)	17,1 (11,7)
20 Mg ha ⁻¹	6,7 (1,6)	7,7 (1,9)	2,8 (0,4)	3,2 (0,8)	1324,7 (591,4)	1218,7 (770,1)	26,7 (7,5)	16,4 (2,2)
30 Mg ha ⁻¹	10,1 (3,7)	8,8 (3,1)	4,4 (1,2)	4,6 (1,7)	2342,7 (1038,7)	2167,9 (1149,0)	41,9 (10,4)	26,8 (12,8)
40 Mg ha ⁻¹	8,2 (0,9)	10,5 (1,6)	4,9 (1,7)	4,5 (0,4)	2059,1 (1278,2)	2171,3 (344,2)	54,6 (19,9)	28,7 (5,8)
50 Mg ha ⁻¹	11,0 (2,3)	8,1 (1,2)	4,9 (1,8)	4,1 (0,9)	2021,7 (845,8)	2301,9 (580,4)	51,5 (11,1)	28,4 (9,9)
CV%:	33,4		11		60		45,1	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}	
	FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO* e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Gráfico 30 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Mn (A), Cu (B), Fe (C) e Zn (D) das raízes de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao observar os gráficos acima nota-se que apenas o B não apresentou interação entre as doses de resíduos aplicadas ($p=0,190$). Como os outros micronutrientes apresentaram essa interação ($p<0,001$ para Cu, Fe e Zn e $p<0,002$ para Mn), foi possível estimar um modelo, através de gráfico de regressão, para cada um deles.

Ao analisar os Gráficos 30A e 30D, observa-se que o aumento das quantidades de Mn e Zn no composto e no lodo foi linear em relação às doses, sendo quantidades maiores nas maiores doses aplicadas, e que as quantidades desses nutrientes, promovidas pelo composto de lodo, não superaram a adubação inorgânica, o que, no caso do Mn, foi diferente no lodo de esgoto, que promoveu quantidades maiores de Mn, em relação à fertilização inorgânica, nas doses de 40 e 50 Mg ha^{-1} . Porém, no caso do Zn, as quantidades desse nutriente promovidas pelo lodo não foram suficientes para superar a adubação inorgânica, assim como ocorreu no composto. Em todas as doses, em ambos os fertilizantes orgânicos, as quantidades de Mn nas raízes dos eucaliptos foram maiores que o controle, o que, para o Zn, ocorreu a partir da dose 30 Mg ha^{-1} de composto e 20 Mg ha^{-1} de lodo.

Em relação ao Cu e Fe, ao observar os Gráficos 30B e 30C, nota-se que o aumento das quantidades desses nutrientes nas raízes também foi linear, sendo que, no caso do Cu, as quantidades foram maiores que a adubação inorgânica nas doses de 40 e 50 Mg ha^{-1} de adubo orgânico e, no caso do Fe, foram iguais à fertilização inorgânica nessas mesmas doses. As quantidades de Cu foram maiores que o controle em todas as doses enquanto as de Fe foram consideradas maiores que esse tratamento apenas a partir da dose 30 Mg ha^{-1} . Ao comparar as concentrações de Fe das raízes com as das folhas e dos galhos e caule, nota-se que houve um acúmulo desse nutriente na parte radicular das plantas.

As raízes são importantes compartimentos de armazenamento de carbono e nutrientes, principalmente em espécies florestais, pois permanecem nas áreas de plantio após a colheita (LEITE, 2012). Conforme Laclau et al. (2000) a concentração de nutrientes e seus acúmulos nos diferentes compartimentos dos eucaliptos variam conforme a idade, tipo de clone e fertilidade do solo.

De modo geral, a contribuição das doses de ambos os adubos orgânicos a base de lodo para a nutrição das raízes das plantas de eucalipto foi positiva,

aumentando as quantidades da maioria dos nutrientes, de acordo com o acréscimo das doses. Os únicos nutrientes que não apresentaram aumento linear das quantidades em relação às doses foram o N, P e Ca, que decresceram nas maiores doses de fertilizante orgânico aplicadas. Como já abordado anteriormente, esse resultado para N e P pode ser explicado devido à mobilidade desses nutrientes entre os compartimentos das plantas com maior desenvolvimento. Em relação ao Ca, embora tenha havido uma queda, essa queda foi mínima permitindo que, mesmo assim, as quantidades desse nutriente nas raízes ficassem acima das promovidas pela fertilização inorgânica.

Portanto, o acréscimo de doses de composto e lodo promoveu maiores quantidades de nutrientes às raízes de eucalipto e as doses que apresentaram os melhores resultados foram as de 40 e 50 Mg ha⁻¹.

4.3.4 Quantidade total de nutrientes nas plantas

Além das quantidades de nutrientes em cada compartimento das plantas, também foi calculada a quantidade total de nutrientes que as plantas apresentaram.

Ao avaliar os macronutrientes, as quantidades médias de N apresentaram interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p < 0,001$) (Tabela 30), enquanto as de P ($p = 0,532$), K ($p = 0,718$), Ca ($p = 0,307$), Mg ($p = 0,961$) e S ($p = 0,759$) (Tabela 31) não. Ou seja, as quantidades médias de N variaram de acordo com as doses e os tipos de adubo orgânico, enquanto os dos outros macronutrientes seguiram um perfil médio nas diferentes doses de lodo e composto. As quantidades de P, K, Mg e S apresentaram diferença entre os tipos de fertilizante orgânico ($p < 0,001$ para P e K, $p = 0,006$ para Mg e $p = 0,005$ para S), apresentando um perfil médio paralelo e diferente, enquanto as quantidades de Ca não ($p = 0,347$), apresentando um perfil médio paralelo e coincidente. Houve diferença entre os adubos orgânicos e os tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para todos) e interação entre as doses ($p < 0,001$ para P, Mg, Ca e S e $p = 0,020$ para K).

Para os dois tipos de fertilizante orgânico, as maiores quantidades de N foram promovidas na dose de 50 Mg ha⁻¹, superando os tratamentos adicionais. Nessa dose, o composto promoveu a maior quantidade desse nutriente nas plantas de eucalipto (Tabela 30).

Tabela 30 - Quantidade total de nitrogênio e cálcio nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

N					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	1,5 b (0,1)	6,9 a (0,7)	5,5 a (0,9)	6,6 a (1,4)	9,2
20 Mg ha ⁻¹	1,5 c (0,1)	6,9 b (0,7)	9,5 a (0,8)	10,5 a (0,4)	
30 Mg ha ⁻¹	1,5 c (0,1)	6,9 b (0,7)	14,8 a (2,6)	15,1 a (1,4)	
40 Mg ha ⁻¹	1,5 d (0,1)	6,9 c (0,7)	17,7 b (0,6)	22,7 a (1,8)	
50 Mg ha ⁻¹	1,5 c (0,1)	6,9 b (0,7)	22,1 a (1,3)	23,1 a (1,4)	
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*				

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Em relação ao P, K, Ca, Mg e S, o composto de lodo foi o resíduo que promoveu quantidades médias maiores de P, K, Mg e S em relação ao lodo, enquanto que, para o Ca, as quantidades desse nutriente promovidas por ambos os fertilizantes orgânicos foram consideradas iguais (Tabela 31).

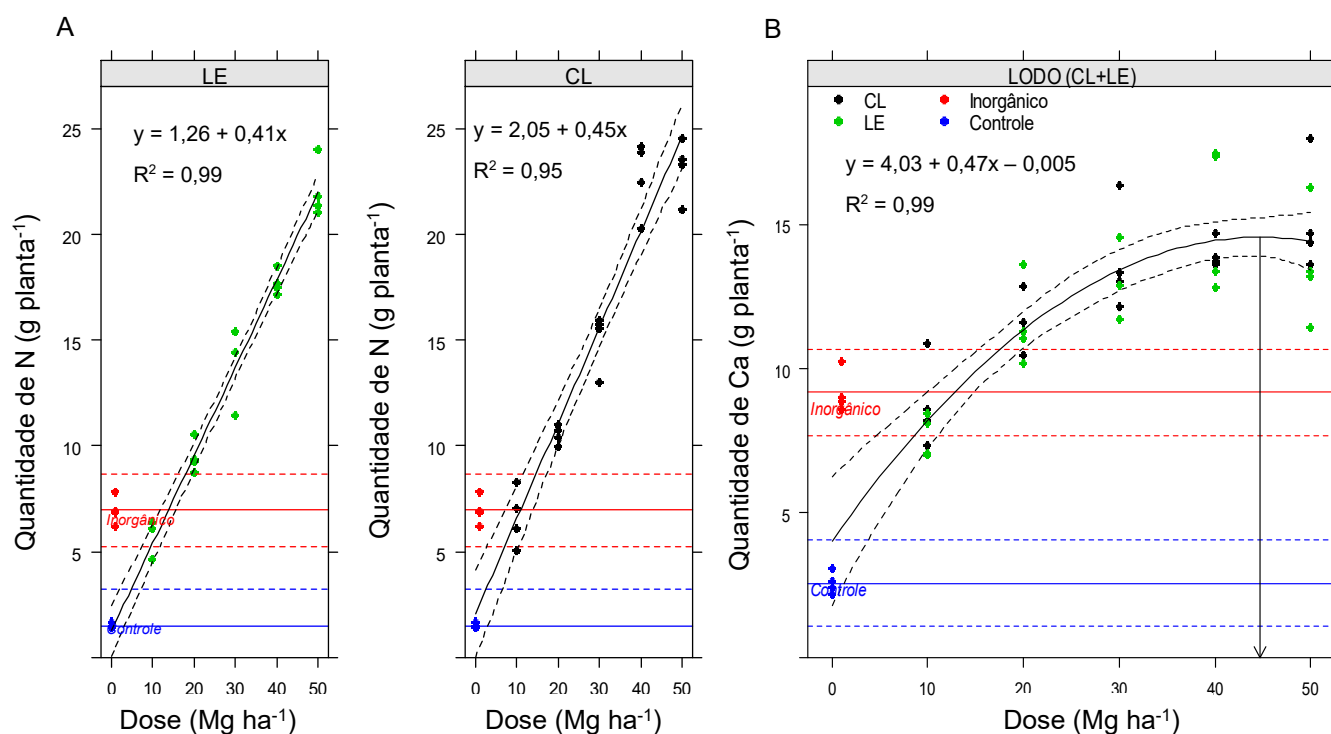
Tabela 31 - Quantidade total de fósforo, potássio, magnésio e enxofre nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	P		Ca		K		Mg		S	
	----- g planta ⁻¹ -----									
Testemunha	0,11 d (0,02)		2,6 c (0,4)		1,6 c (0,3)		0,9 c (0,4)		0,4 d (0,1)	
Adubo Inorgânico	0,71 c (0,1)		9,2 b (0,7)		7,5 b (1,1)		4,3 a (1,5)		1,6 c (0,2)	
LEC	1,8 a (0,6)		12,6 a (2,7)		9,3 a (0,9)		3,9 a (0,7)		2,9 a (0,9)	
LEP	1,4 b (0,4)		12,1 a (3,0)		7,9 b (0,8)		3,4 b (0,7)		2,6 b (0,8)	
LE/CL	LEC	LEP	LEC	LEP	LEC	LEP	LEC	LEP	LEC	LEP
10 Mg ha ⁻¹	1,1 (0,1)	0,9 (0,1)	8,7 (1,5)	7,6 (0,7)	9,3 (1,1)	7,8 (0,8)	2,9 (0,2)	2,4 (0,1)	1,7 (0,1)	1,5 (0,1)
20 Mg ha ⁻¹	1,4 (0,1)	1,1 (0,1)	11,3 (1,1)	11,5 (1,4)	9,1 (0,9)	7,6 (0,5)	3,6 (0,1)	2,2 (0,3)	2,3 (0,2)	2,2 (0,1)
30 Mg ha ⁻¹	1,9 (0,4)	1,5 (0,2)	13,7 (1,8)	12,7 (1,3)	8,5 (0,6)	7,6 (0,5)	3,9 (0,3)	3,6 (0,3)	2,9 (0,4)	2,8 (0,3)
40 Mg ha ⁻¹	2,3 (0,4)	1,7 (0,3)	13,9 (0,5)	15,5 (2,5)	9,9 (0,4)	7,9 (1,1)	4,4 (0,3)	3,9 (0,4)	3,5 (0,4)	3,2 (0,4)
50 Mg ha ⁻¹	2,4 (0,4)	1,9 (0,3)	15,2 (1,9)	13,6 (2,0)	10,0 (0,7)	8,7 (0,9)	4,6 (0,7)	3,9 (0,5)	3,8 (0,6)	3,3 (0,7)
CV%:	24,2		8,7		22,5		18		17	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO* e D*		FO ^{ns} e D*		FO* e D*		FO* e D*		FO* e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

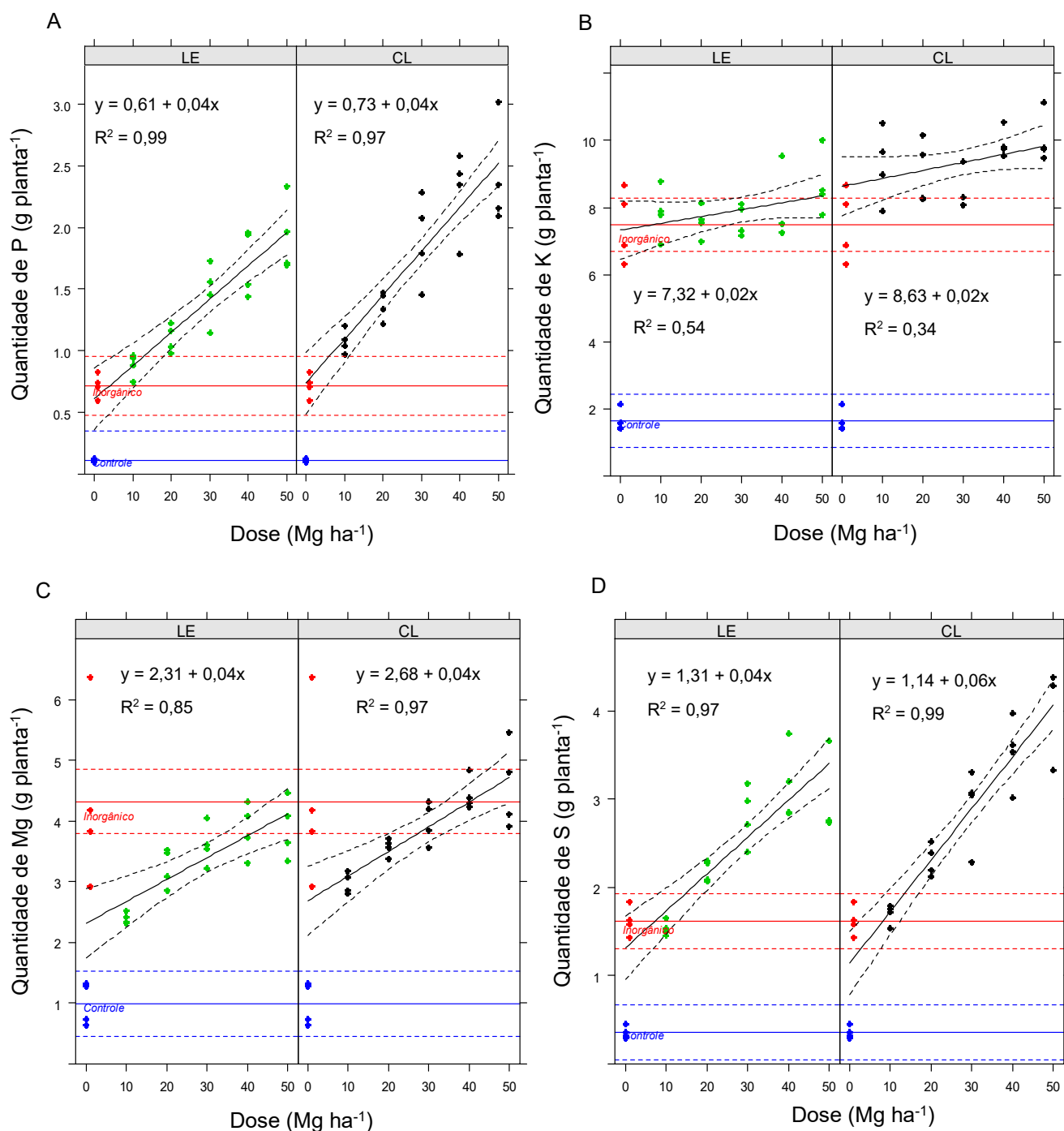
Ao observar os gráficos de regressão 31 e 32, nota-se que as quantidades de N, P, K, Mg e S apresentaram comportamento linear em relação às doses de resíduos aplicadas, ou seja, aumentaram de acordo com o aumento das doses de lodo e de composto, enquanto as quantidades de Ca apresentaram comportamento quadrático, caindo, sutilmente, na maior dose de fertilizante orgânico. As quantidades de N, Ca e S, em toda a planta, diferenciaram-se da adubação inorgânica a partir da dose 20 Mg ha⁻¹ de ambos os adubos orgânicos. No caso do P, essa diferença apareceu em todas as aplicações de composto de lodo e a partir da dose 20 Mg ha⁻¹ do lodo de esgoto. No caso do K, essa diferença ocorreu apenas nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de composto, não ocorrendo no lodo, o qual se apresentou igual à fertilização inorgânica em todas as doses, algo que, para o Mg, ocorreu nas doses de 30, 40 e 50 Mg ha⁻¹ de composto e nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ de lodo, apresentando-se abaixo da adubação inorgânica nas outras doses.

Gráfico 31 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de N (A) e Ca (B) nas plantas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Gráfico 32 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de P (A), K (B), Mg (C) e S (D) das plantas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

É importante salientar que a quantidade de todos os macronutrientes, em todas as doses, foram maiores que o tratamento controle, indicando que mesmo a dose mais baixa dos resíduos pode promover, às plantas, nutrientes para o início do desenvolvimento delas.

Como esperado, devido à grande quantia desses nutrientes presentes no lodo de esgoto, as quantidades de N (Gráfico 31A), P (Gráfico 31B) e S (Gráfico 31C) nas plantas de eucalipto apresentaram-se linear, aumentando de acordo com o aumento das doses de ambos os fertilizantes orgânicos. Nas maiores doses, as quantidades desses nutrientes foram o dobro das quantidades promovidas pela fertilização inorgânica.

Assim como ocorreu ao considerar cada compartimento das plantas para a avaliação, ao analisar a planta como um todo, as quantidades de Ca apresentaram comportamento quadrático em relação às doses, aumentando até a dose de 45 Mg ha⁻¹, caindo após. Algo a ser considerado é que a relação entre o uso eficiente de Ca e o crescimento de planta é muito complexa e pode envolver diversos controles fisiológicos, como a capacidade de retranslocação interna de Ca compartimentalizado em membranas e órgãos celulares de armazenamento (retículo endoplasmático, cloroplastos e vacúolo) (CAINES; SHENNAN, 1999), de modo que o Ca pode estar presente na planta, porém não estar sendo usado como componente estrutural, sua principal função. Como a análise estatística não identificou diferença entre os dois tipos de adubos orgânicos, apenas uma curva de regressão foi gerada, apontando esse decréscimo do Ca na maior dose de fertilizante orgânico aplicada. Porém, ao analisarmos os esses fertilizantes separadamente, vemos que essa queda aconteceu apenas no lodo e de forma sutil. Então, talvez ela não seja tão relevante no momento de analisar a contribuição desse nutriente pelos resíduos.

O composto de lodo, apesar de ter sido o tratamento que promoveu as maiores quantidades de praticamente todos os macronutrientes, não conseguiu superar a quantidade de Mg promovida pela adubação inorgânica (Gráfico 32C), o que pode ter ocorrido devido à aplicação de calcário dolomítico ao solo nesse tratamento, o qual serviu como fonte de magnésio. Além disso, o efeito entre Ca e Mg é antagônico, ou seja, o excesso de um prejudica a absorção do outro (MOORE; OVERSTREET; JACOBSON, 1961; PRADO, 2008). Isso pode ser notado ao observar

os Gráficos 31B e 32C, os quais mostram que as quantidades de Ca nas plantas de eucalipto foram muito maiores que as de Mg, demonstrando que absorção de Mg pode ter sido prejudicada pelas quantidades de Ca presentes nos dois tipos de adubo orgânico (Tabela 3).

No caso do K, o lodo foi o fertilizante orgânico que não promoveu quantidades superiores à adubação inorgânica e apesar de o composto ter promovido essa condição, as quantidades ficaram pouco acima da fertilização inorgânica, quando comparadas com os outros macronutrientes. O K é altamente solúvel em água, sendo perdido no efluente líquido durante o tratamento (TSUTYA, 2000), o que diminui sua presença no lodo de esgoto. Por isso, foi feita suplementação desse nutriente, com quantidades proporcionais à fertilização inorgânica, nos tratamentos com os resíduos. Porém, os resultados das quantidades de K nas plantas de eucalipto mostraram que a suplementação utilizada não foi suficiente para que o lodo promovesse quantidades desse nutriente maiores que a adubação inorgânica, sendo necessária suplementação com maior quantidade de cloreto de potássio no lodo que não passou pelo processo de compostagem.

Ao avaliar os micronutrientes, as quantidades médias de Mn apresentaram interação significativa entre fertilizante orgânico e dose ($p < 0,001$), variando de acordo com as doses e com os tipos de adubo orgânico, enquanto as de B ($p = 0,699$), Cu ($p = 0,947$), Fe ($p = 0,698$) e Zn ($p = 0,277$) não, seguindo um perfil médio nas diferentes doses de composto e lodo. Com exceção do Zn ($p < 0,001$), as quantidades de B ($p = 0,402$), Cu ($p = 0,163$) e Fe ($p = 0,645$) não apresentaram diferença entre os tipos de adubo orgânico. Ou seja, as quantidades de Zn seguiram um perfil médio paralelo e diferente, enquanto as de B, Cu e Fe seguiram um perfil médio paralelo e coincidente. Todos os micronutrientes apresentaram diferença entre os lodos e os tratamentos adicionais ($p < 0,001$ para B e Cu, $p = 0,003$ para Fe e $p = 0,03$ para Zn) e interação entre as doses ($p < 0,001$ para todos).

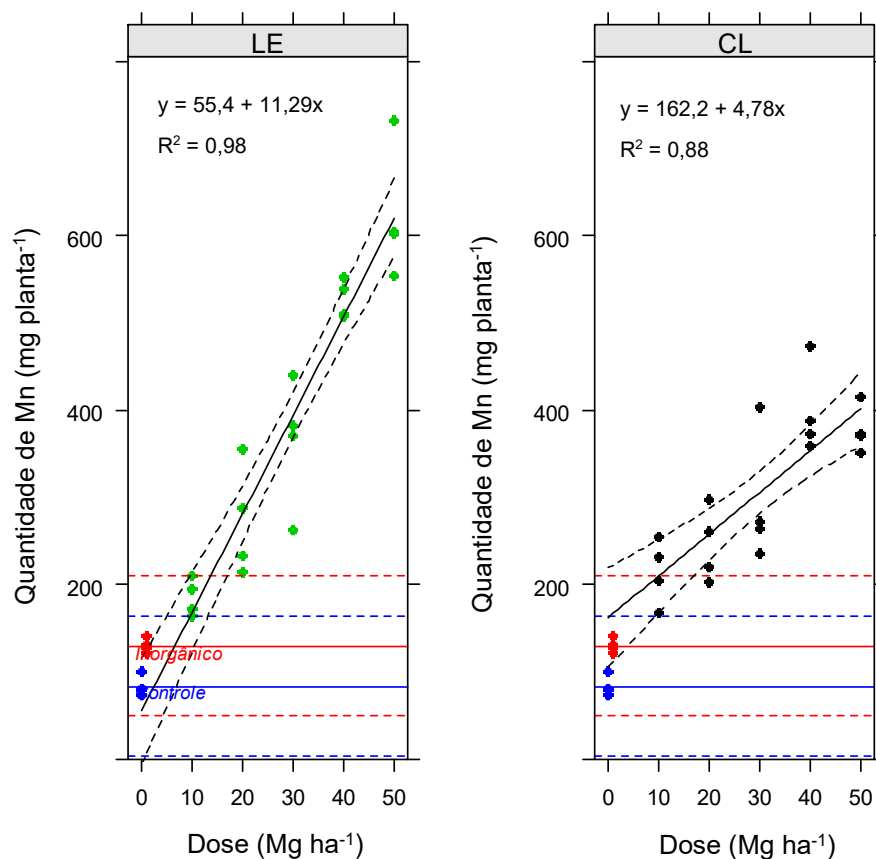
Tabela 32 - Quantidade total de manganês nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn					
----- g planta ⁻¹ -----					
Doses	Testemunha	Adubo Inorgânico	LE	CL	CV%
10 Mg ha ⁻¹	83,5 b (11,9)	129,9 ab (7,7)	185,1 a (21,5)	214,8 a (36,9)	15,8
20 Mg ha ⁻¹	83,5 b (11,9)	129,9 b (7,7)	272,5 a (63,5)	244,4 a (42,5)	
30 Mg ha ⁻¹	83,5 b (11,9)	129,9 b (7,7)	363,9 a (73,8)	297,1 a (74,9)	
40 Mg ha ⁻¹	83,5 c (11,9)	129,9 c (7,7)	526,5 a (21,5)	397,8 b (51,9)	
50 Mg ha ⁻¹	83,5 c (11,9)	129,9 c (7,7)	622,7 a (75,8)	377,3 b (26,9)	
FV:			FOxD* FatxAd*		
			FQ* e D*		

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

As maiores quantidades de Mn foram promovidas pelo lodo de esgoto, nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹, nas quais esse resíduo superou o composto e os tratamentos adicionais. Ao analisar a Tabela 32, observa-se que as quantidades de Mn promovidas pelo lodo ficaram próximas do dobro das proporcionadas pelo lodo composto. Como visto no item 4.2, o Mn tem alta afinidade com a matéria orgânica, ficando indisponível para as plantas. Conforme a Tabela 3, apesar de o composto apresentar maior concentração de Mn que o lodo, o teor de matéria orgânica apresentado pelo composto foi quase duas vezes maior que o apresentado pelo resíduo que não passou pela compostagem. Quando avaliado o teor desse nutriente no solo, ao final do experimento, notou-se que havia maior concentração de Mn no solo adubado com composto, o que pode indicar que, devido à alta quantidade de MO no nesse adubo orgânico, esse nutriente ficou complexado, sendo liberado lentamente durante o experimento, tornando-se mais disponível às plantas no final, algo que, provavelmente, ocorreu em menor quantidade com o lodo, devido à sua menor quantia de MO, disponibilizando esse nutriente durante todo o experimento, possibilitando que as plantas absorvessem mais Mn quando adubadas com esse tipo de resíduo.

Gráfico 33 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de Mn das plantas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Através do Gráfico 33, é possível observar que as quantidades de Mn apresentaram aumento linear em relação às doses, aumentando de acordo com o acréscimo dos dois tipos de fertilizantes orgânicos, que, em ambos os adubos orgânicos, as quantidades desse nutriente diferenciaram-se da adubação inorgânica a partir da dose de 20 Mg ha⁻¹ e que, em todas as doses, as quantidades de Mn promovidas pelos adubos orgânicos foram maiores que o controle.

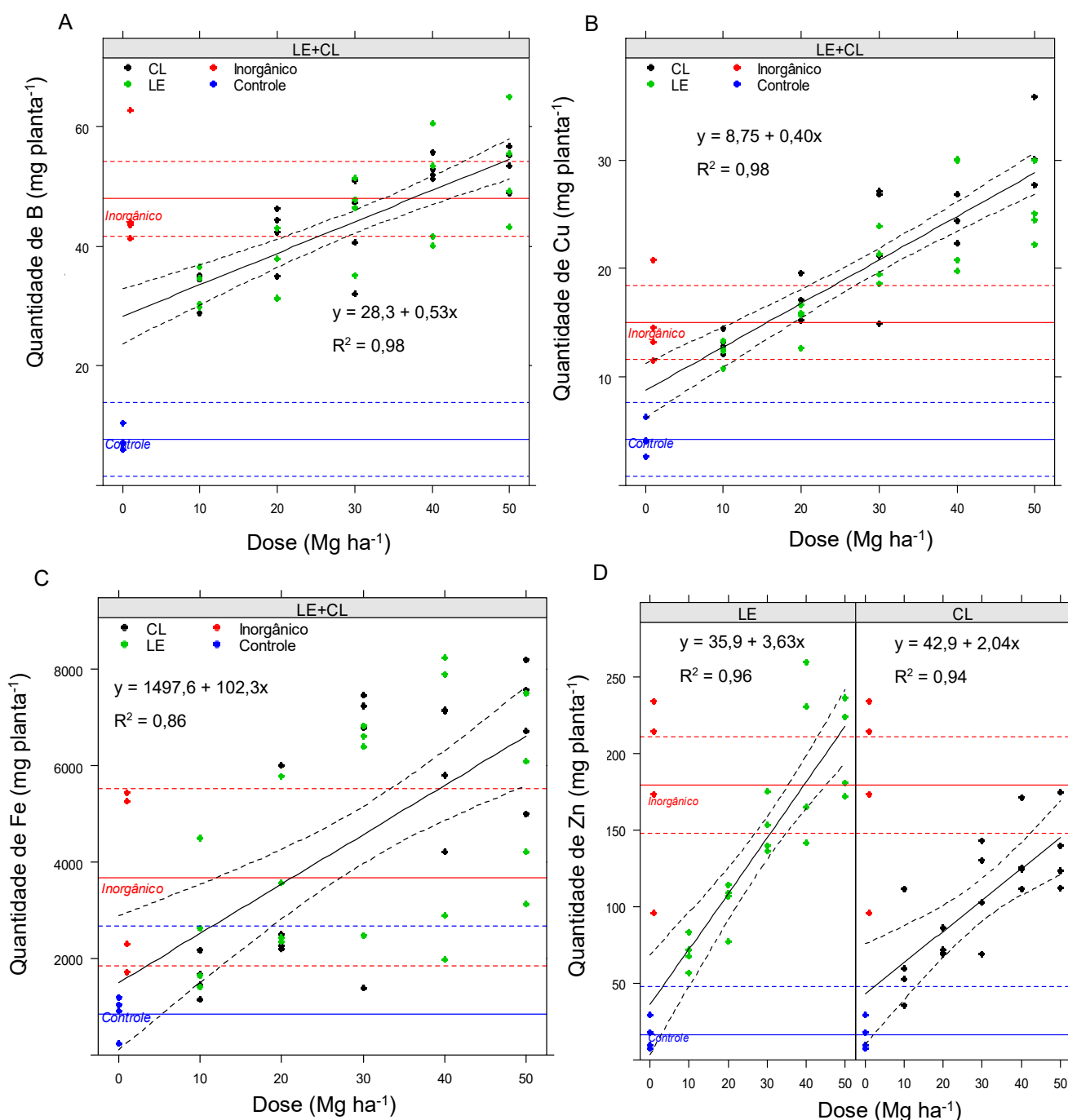
Em relação ao B, Cu, Fe e Zn, observou-se que os dois tipos de fertilizantes orgânicos promoveram quantidades médias significativamente iguais de B, Cu e Fe, enquanto, para o Zn, o lodo promoveu maior quantidade média desse nutriente em relação ao composto (Tabela 33).

Tabela 33 - Quantidade total de boro, cobre, ferro e zinco nas plantas de eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses crescentes de lodo de esgoto e composto de lodo

	B		Cu		Fe		Zn	
	----- g planta ⁻¹ -----							
Controle	7,6 c (1,9)		4,3 c (1,5)		847,9 b (424,7)		16,0 c (9,8)	
Adubo Inorgânico	47,9 a (9,9)		15,0 b (4,0)		3681,5 ab (1945,6)		179,0 b (61,4)	
LE	43,2 a (10,3)		19,8 ab (6,1)		4428,6 a (2274,1)		144,9 a (60,5)	
CL	44,9 a (8,9)		21,4 a (6,9)		4706,6 a (2564,3)		104,1 a (38,8)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	32,8 (3,3)	33,4 (3,1)	12,3 (1,1)	13,1 (0,9)	2546,8 (1401,1)	1612,7 (423,3)	69,9 (10,8)	64,9 (32,5)
20 Mg ha ⁻¹	35,9 (5,7)	42,1 (4,9)	15,2 (1,7)	16,8 (2,1)	3526,9 (1604,1)	3239,4 (1851,4)	101,7 (16,8)	74,1 (8,1)
30 Mg ha ⁻¹	45,2 (7,1)	42,7 (8,3)	20,9 (2,3)	22,5 (5,8)	5585,8 (2076,1)	5722,8 (2896,4)	150,9 (17,6)	111,1 (32,8)
40 Mg ha ⁻¹	48,9 (9,7)	52,9 (1,9)	25,1 (5,6)	25,9 (3,3)	5248,5 (3279,5)	6082,4 (1385,5)	199,0 (54,9)	133,1 (25,9)
50 Mg ha ⁻¹	53,2 (9,3)	53,6 (3,4)	25,4 (3,3)	28,9 (5,8)	5235,0 (1947,9)	6875,4 (1385,5)	202,9 (31,6)	137,3 (27,1)
CV%:	17,8		22,2		55,5		28,7	
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO* e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Gráfico 34 - Efeito das doses de lodo de esgoto e composto de lodo na quantidade de B (A), Cu (B), Fe (C) e Zn (D) das plantas de eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle) e à adubação inorgânica com calcário



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Ao analisar o Gráfico 34, observa-se que as quantidades de B, Fe, Cu e Zn foram linear em relação às doses, independente do fertilizante orgânico, indicando que quanto maior a dose de adubo orgânico a base de lodo aplicada, maior a

quantidades desses nutrientes nas plantas de eucalipto. Apesar de aumentarem, apenas as quantidades de Cu, a partir da dose 30 Mg ha⁻¹ de fertilizante orgânico, superaram a adubação inorgânica (Gráfico 34B). As quantidades de B, Fe e Zn apresentaram-se menores ou iguais à essa adubação. As quantidades de B e Fe mostraram-se iguais a fertilização inorgânica nas doses de 40 e 50 Mg ha⁻¹ (Gráfico 34A e 34C), algo que também ocorreu, para o Zn, no lodo (Gráfico 34D). As quantidades de Zn, para o composto, ficaram abaixo da adubação inorgânica em todas as doses. Porém, com exceção do Fe na dose 10 Mg ha⁻¹, as quantidades de B, Cu e Zn foram maiores que o controle em todas as doses de fertilizante orgânico aplicadas.

O uso de lodo de esgoto tratado com polímeros pode provocar aumento da acidez no solo (BEZERRA et al., 2002), promovendo maior disponibilidade dos elementos metálicos na solução do solo (FERRAZ, 2009), algo que pode ser amenizado pelo processo de compostagem. Como o lodo não passou por esse processo, as quantidades de Zn promovidas por esse resíduo foram estatisticamente maiores que as promovidas pelo composto.

Mesmo havendo suplementação de Zn no tratamento com adubação inorgânica, o lodo proporcionou quantidades iguais desse nutriente nas maiores doses de resíduo aplicadas, mostrando que esse tipo de fertilizante orgânico não precisa de suplementação para fornecer quantidades adequadas desse nutriente às plantas. Como já dito nesse trabalho, o Zn presente no lodo de esgoto provém das atividades industriais, podendo estar presentes em grandes quantidades em regiões com concentração de indústrias, necessitando, nesses casos, de monitoramento para não ser aplicado em excesso, evitando prejudicar as plantas ou uma possível contaminação do solo.

Como visto anteriormente, o B é solúvel em água e é perdido no efluente líquido durante o tratamento do esgoto, por isso, como não houve suplementação desse nutriente, as quantidades de B nas plantas não foram suficientes para superar a adubação inorgânica, mesmo em maiores doses de resíduo.

O composto e o lodo promoveram resultados melhores para os macronutrientes, pois, com exceção do Mg, todos eles apareceram nas plantas em quantidades superiores a adubação inorgânica, em ambos os fertilizantes orgânicos

ou no composto (caso do K), algo que não ocorreu para o B, Fe e Zn. Porém, considerando que os micronutrientes são exigidos em menores quantidades pelas plantas, o fato de os adubos orgânicos promoverem quantidades, desses nutrientes, iguais à adubação inorgânica já pode ser considerado suficiente para as plantas conseguirem iniciar seu desenvolvimento.

Portanto, o acréscimo de doses de lodo de esgoto e de composto de lodo promoveu maiores quantidades de nutrientes às plantas de eucalipto e as doses que apresentaram os melhores resultados foram as de 40 e 50 Mg ha⁻¹.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como o processo de compostagem exige um custo, é necessário tratar do aspecto econômico para a produção desse material.

A escolha do método de compostagem, por si só, possui grande relevância econômica e logística, pois implica em resultados produtivos e econômicos distintos, devido ao grande número de variáveis envolvidas na sua definição, tais como: área disponível para compostagem, localização e proximidade com áreas urbanas e residenciais, quantidade produzida e tipo de lodo de esgoto, disponibilidade de material estruturante, custos dos equipamentos e distância das culturas que receberão o fertilizante orgânico (INÁCIO, 2009).

Em estudo feito por Visentin (2019) para avaliar o custo benefício da produção do composto de lodo através da compostagem do lodo de esgoto com casca de eucalipto, a autora verificou que a economia de custos ao se transportar e dispor o lodo de esgoto em aterro sanitário já torna o projeto de compostagem plenamente viável, do ponto de vista econômico. Ou seja, a soma da receita de comercialização do fertilizante orgânico com a economia de custos do transporte e disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário se apresenta como alternativa econômica viável (VISENTIN, 2019).

Portanto, o uso do composto de lodo com casca de eucalipto usado nesse trabalho, além de ser economicamente viável para a ETE que produz a matéria-prima base do fertilizante orgânico, ainda trará benefícios econômicos para os produtores de eucalipto, que terão acesso a um fertilizante que promove, às plantas e ao solo, resultados iguais ou melhores àqueles promovidos pela fertilização inorgânica e que apresenta menor custo que o adubo inorgânico. Ademais, existem as questões ambientais que envolvem esse processo, uma vez que a reutilização de resíduos industriais e a não disposição do lodo de esgoto em aterro sanitário diminuem os impactos ambientais.

6 CONCLUSÕES

O uso de lodo de esgoto e composto de lodo proporcionou variáveis biométricas iguais ou melhores que as fornecidas pela adubação inorgânica, além de incrementos de macro e micronutrientes, matéria orgânica e CTC no solo e maiores quantidades de nutrientes nas plantas de eucalipto como um todo.

As doses que promoveram os melhores resultados em relação à fertilidade do solo e nutrição das plantas foram as de 40 e 50 Mg ha⁻¹ dos dois tipos de fertilizante orgânico à base de lodo, indicando que nessas doses eles podem substituir a adubação inorgânica.

De maneira geral, o composto de lodo proporcionou um melhor desenvolvimento inicial do eucalipto em relação ao lodo de esgoto, recomendando-se aplicar, em média, 45 Mg ha⁻¹ de composto de lodo.

REFERÊNCIAS

- AFÁZ, D. C. S.; BERTOLAZI, K. B.; VIANI, R. A. G.; SOUZA, C. F. Composto de lodo de esgoto para o cultivo inicial de eucalipto. **Rev. Ambient. Água** v. 12, n. 1, p. 112-123, 2017.
- ALVES, M.C. Recuperação de um subsolo utilizado para terraplenagem e fundação da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, SP. 2000, 83 p. Tese (Livre Docência) Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.
- ANDRADE, C. A. **Nitratos e metais pesados em solos e plantas de *Eucalyptus grandis* após aplicação de biossólidos da ETE Barueri**. 1999. 65 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1999.
- AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, A. M.; LOUREIRO, D. C. Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. **Circular técnica EMBRAPA**. 4p., Seropédica, 2005.
- BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F. Relação solo eucalipto. Viçosa: **Folha de Viçosa**, p.127-181, 1990.
- BASIL, G.; MAZZARINO, M. J.; ROSELLI, L.; LETOURNEAU, F. Efecto del compost de biossólidos em la producción de plantines de *Austrocedrus chilensis* (Ciprés de la cordillera). **Ciencia del Suelo**, v. 27, n. 1, p. 49 – 55, 2009.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; SILVA, L. S.; CANELLAS, L. P.; CAMARGO, F. A. O. (Ed.). **Matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Metrópole, 2008. cap. 2, p. 7-16.
- BERTOLAZI, K. B.; AFÁZ, D. C.; VIANI, R. A.; SOUZA, C. F. Viabilidade da aplicação de composto de lodo de esgoto no cultivo inicial de eucalipto. **Revista Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**. v. 4, n. 1, p. 72-78, 2016.
- BERTON, R. S.; NOGUEIRA, T. A. R. Uso do lodo de esgoto na agricultura. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A.; PIRES, A. M. M. (Org.). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.
- BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L. de; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G. de; MENEGUELLI, N. do A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2002.
- BOEIRA, R. C.; SOUZA, M. D. Estoque de carbono orgânico e de nitrogênio, pH e densidade de um Latossolo após três aplicações de lodos de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 581-590, 2007.

BOX, G. E. P.; COX, D. R. Na analysis of transformation. **Journal of the Royal Statistical Society**, v.26, p. 211-243, 1964.

BRAMRYD, T. Effects of liquid and dewatered sewage sludge applied to a Scots pine stand (*Pinus sylvestris* L.) in central Sweden. **For. Ecol. Manag.**, v. 147, p. 197-216, 2001.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, 2010. Seção 1.

BRASIL. **Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006**. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 2006. Seção 1.

BUENO, J. R. P.; BERTON, R. S.; SILVEIRA, A. P. D.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; MARIA, I. C. Chemical and microbiological attributes of an oxisol treated with successive applications of sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, n. 4, p. 1461-1470, 2011.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio nas folhas e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007, 142 p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CARCEDO, S. G.; GONZÁLES, M. N.; FERNÁNDEZ, J. I. L.; MORADILLO, C. R.; ROBLES, D. J. L. Obtención de produtos de alto valor añadido a partir de compost. In: CASCO, J. M.; HERRERO, R. M. **Compostaje**. 2008, p. 450-465.

CARVALHO, M. A. F.; SILVEIRA, P. M.; SANTOS, A. B. Utilização do clorofilômetro para racionalização da adubação nitrogenada nas culturas do arroz e do feijoeiro. **Embrapa, Comunicado técnico 205**, 14p. Santo Antônio de Goiás, 2012.

CARVALHO, P.C.T.; BARRAL, M.F. Aplicação de Le como fertilizante. **Fertilizantes**, v. 63, n. 2, p. 1-4, 1981.

CHANEY, R.L. Public health and sludge utilization. **Biocycle**, v. 30, p. 68-73, 1990.

COLODRO, G. C.; ESPÍNDOLA, C. R. Alterações na fertilidade de um latossolo degradado em resposta à aplicação de lodo de esgoto. **Acta Sci. Agron.**, v. 28, n. 1, p. 1-5, 2006.

CONAMA. (CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE). Resolução nº 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente, 2006.

COSTA, A. N.; COSTA, A. F. S.; MARQUES, M. O.; SANTANA, R. C. Estudo de caso utilização de lodo de estações de tratamento de esgoto (ETEs) na cultura do mamoeiro no Norte do Estado do Espírito Santo. In: ANDREOLI, V. (Coord.). **Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: RiMa/ABES, 2001. p. 189-214.

COSTA, V. L.; MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A.; GREGO, C. R.; MELO, L. C. A. Distribuição espacial de fósforo em Latossolo tratado com lodo de esgoto e adubação mineral. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.18, n.3, p.287–293, 2014.

CUNHA, A. R.; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1-11, 2009.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 327-354.

DIAS, L.P.R., GATIBONI, L.C., BRUNETTO, G., SIMONETE, M.A. & BICARATTO, B. Eficiência relativa de fosfatos naturais na adubação de plantio de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden e *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em solo sem e com calagem. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 37-48, 2015.

EDMONDS, R. L. Microbial aspects of residuals use in forest ecosystems. In: HENRY, C. L.; HARRISON, R. B.; BASTIAN, R. K. **The forest alternative: Principles and practice of residuals use**. Seattle: University of Washington, 2000. p. 39-44.

FAO. Organic recycling in Asia. **FAO Soils Bulletin**, v. 36, p. 320-325, 1978.

FARIA, M. F. de et al. Persistence of *Ascaris* spp. Ova in Tropical Soil Cultivated with Eucalyptus and Fertilized with Municipal Biosolids. **Journal Of Environment Quality**, American Society of Agronomy, v. 46, n. 3, p. 522-527, 2017.

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

FISCHESSER B., DUPUIS-TATE M. F. Le guide illustré de l'écologie, Ed. Quae, France, 2007, 352 p.

FOX, R. H.; PIEKIELER, W. P.; MACNEAL, K. M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p. 171-181, 1994.

GIANQUINTO, G.; SAMBO, P. e BONA, S. The use of SPAD-502 chlorophyll meter for dynamically optimizing the nitrogen supply in potato crop: A methodological approach. **Acta Horticulturae**, v. 607, p. 197-204, 2003.

GIBSON, T.S.; CHAN, K.Y.; SHARMA, G. SHEARMAN, R. **Soil carbon sequestration utilizing recycled organics**. Sydney: NSW Agriculture, 2002. 95p.

GIL, P. T.; FONTES, P. C. R.; CECON, P. R. e FERREIRA, F. A. Índices SPAD para diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, p. 611-615, 2002.

GODOY, L. C. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Revista Científica Online Tecnologia – Gestão – Humanismo**, v. 2, n. 1, p. 79-90, 2013.

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

GONÇALVES, J.L.M.; RAIJ, B.van; GONÇALVES, J.C. Florestais. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C., eds. **Boletim Técnico 100 - Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p. 247-259. (Boletim Técnico, 100)

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

GONÇALVES, R. F.; LUDUVICE, M.; LIMA, M.R.P.; RAMALDES, D.L. da C.; FERREIRA, A. C.; TELES, C. R.; ANDREOLI, C. V. Desidratação de Lodo de Esgotos. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Resíduos Sólidos do Saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. p. 57-86.

GUEDES, M. C. **Ciclagem de nutrientes após aplicação de lodo de esgoto (biossólido) sobre Latossolo cultivado com *Eucalyptus grandis***. 2005. 154 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2005.

GUERRINI, I. A.; CROCE, C. G. G.; BUENO, O. C.; JACON, C. P. R. P.; NOGUEIRA, T. A. R.; FERNANDES, D. M.; GANGA, A.; CAPRA, G.F. Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 22, p. 93-104, 2017.

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

HART, J.B.; NGUYEN, P.V.; URIE, D.H.; BROCKWAY, D.G. Silvicultural use of wastewater sludge. **Jornal of Forestry**, v. 17, p. 17-24, 1988.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HARRISON, R.B.; BENGTSSON, J. & LUNDKVIST, H. Use of municipal sludge to restore and improve site productivity in forestry: The Packe

Forest Sludge Research Program. **Forest Ecology and Management**, v. 66, p. 137-49, 1994.

HENRY, C.L.; COLE, D.W.; HINCKLEY, T.M.; HARRISON, R.B. The use of municipal and pulp paper sludges to increase production in forestry. **Journal of Sustainable Forestry**, v. 1, n. 3, p. 41-45, 1993.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção da extração vegetal e da silvicultura (PEVS) 2017. **Prod. Extr. veg. e Silvíc.**, v. 32, p. 1-8, 2017. IBGE, 2018.

INÁCIO, C.T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 154p.

JUNIO, G. R. Z.; SAMPAIO, R. A.; NASCIMENTO, G. B. S.; SANTOS, G. B.; SANTOS, L. D. T.; FERNANDES, L. A. Produtividade de milho adubado com composto de lodo de esgoto e fosfato natural de Gafsa. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 706–712, 2013.

KELLEY, W. D. et al. **Agricultural use of sewage sludge**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute And State University, 1984. 50 p.

KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. 1 ed. São Paulo. **Ceres**.492 p. 1985.

LABRECQUE, M.; TEODORESCU, T.I.; DAICLE, S. Effect wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation of two *Salix* species. **Plant and Soil**, v. 17, n. 1/2, p. 303-316, 1995.

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

LEILA, S.; MHAMED, M.; HERMANN, H.; MYKOLA, K.; OLIVER, W.; CHRISTIN, M.; ELENA, O.; NADIA, B. Fertilization value of municipal sewage sludge for *Eucalyptus camaldulensis* plants. **Biotechnology Reports**, v. 13, p. 8–12, 2017.

LEITE, R. M. **Interação composto de lodo de esgoto e cinzas de biomassa no desenvolvimento inicial de eucalipto**. 2012. 117 p. Tese (Doutorado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

LI-COR. **LI 3100 area meter instruction manual**. Lincoln: LICOR, 1996. 34p.

Lima, W. P. **Impacto ambiental do eucalipto**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1996.

LOBO, T. F.; GRASSI FILHO, H.; BULL, L. T.; MOREIRA, L. L. Q.; MARTINS, R. L. Efeito do manejo e de níveis de lodo de esgoto na Fertilidade do solo após três aplicações. **Biosci. J.**, v. 29, n. 2, p. 288-296, 2013.

MAIA, C. E.; MORAIS, E. R. C.; PORTO, F. Q.; GUEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F. Teores foliares de nutrientes em meloeiro irrigado com águas de diferentes

salinidades. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, (Suplemento), p. 292-295, 2005.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Editora Agronômica Ceres Ltda**, 1980, 251 p.

MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, N. G. L.; HEINRICHS R.; E. HIGASHI N. V.; RODRIGUEZ, E.; GUERRA, S. C. O.; CABRAL, C. P. Evaluation of Nutritional Status of the Cotton Plant with Respect to Nitrogen. **Soil science and plant analysis**. v. 35, n. 7 & 8, p. 1007–1019, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, E.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas (princípios e aplicações)**. 2 ed. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da Potássio e do Fósforo, 1997. 319p.

MARCIANO, C.R. **Alterações nos atributos físicos-hídricos do solo pela aplicação de resíduos urbanos**. 1999. 104 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1999.

MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V. In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol.*, v. 111, p. 241-251, 1983.

MARX, D. H.; BERRY, C. R.; KORMANIK, P. P. Application of municipal sewage sludge in forest and degraded land. In: Agricultural utilization of urban and industrial byproducts: proceedings. Madison: American Society of Agronomy: Crop Science Society of America: Soil Science Society of America, 1995. p.275-295. (ASA special publication, 58).

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; SANTIAGO, G.; CHELLI, R. A.; LEITE, S. A. S. Efeito de doses crescentes de lodo de esgoto sobre frações da matéria orgânica e CTC de um latossolo cultivado com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 18, n. 3, p. 449-455, 1994.

MENDES, H.S.J., PAULA, N.F., SCARPINATTI, E.A. & PAULA, R.C. Respostas fisiológicas de genótipos de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* à disponibilidade hídrica e adubação potássica. **Cerne**, v. 19, n. 4, pp. 603-611, 2013.

MIGUEL, P. S. B.; GOMES, F. T.; ROCHA, W. S. D.; MARTINS, C. E.; CARVALHO, C. A.; OLIVEIRA, A. V. Efeitos tóxicos do alumínio no crescimento das plantas: mecanismos de tolerância, sintomas, efeitos fisiológicos, bioquímicos e controles genéticos. **CES Revista**, v. 24, 2010.

MINOTTI, P. L.; HALSETH, D. E. e SIECZKA, J. B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **HortScience**, v. 29, p. 1497-1500, 1994.

MOORE, D. P.; OVERSTREET, R.; JACOBSON, L. Uptake of magnesium and its interactions with calcium in excised barley roots. **Plant Physiology**, v. 36, n. 3, p. 290-295, 1961.

NASCIMENTO, A. L.; SAMPAIO, R. A.; ZUBA JUNIO, G. R.; FERNANDES, L. A.; CRUZ, F. R.; CARNEIRO, J. P.; BARBOSA, C. F.; LIMA, N. N.; Atributos químicos do solo adubado com lodo de esgoto estabilizado por diferentes processos e cultivado com girassol. **Biosci. J.**, v. 30, n. 1, p. 146-153, 2014.

NOGUEIRA, T. A. R.; MELO, W. J.; FONSECA, I. M.; MARCUSSI, S. A.; MELO, G. M. P.; MARQUES, M. Q. Fractionation of Zn, Cd and Pb in a Tropical Soil After Nine-Year Sewage Sludge Applications. **Pedosphere**, v. 20, n. 5, p. 545-556, 2010.

NOZELA, W. C. **Caracterização do lodo de esgoto, após desaguamento e secagem térmica, da Estação de Tratamento de Esgoto de Araraquara /SP**. 2014. 90 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2014.

OLIVEIRA, A. F. G. Teste estatístico para comparação de médias. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 5, n. 6, p.777-788, 2008.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. 2008. Programa de pós-graduação em solos e nutrição de plantas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba 2008.

OLIVEIRA, J. R.; BRAGA, F. A.; COSTA, M. R. Impacto do eucalipto na fertilidade do solo. IBEAS – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. **IX Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**. São Bernardo do Campo/SP – 26 a 29/11/2018.

PEDROTTI, A.; CHAGAS, R. M.; RAMOS, V. C.; PRATA, A. P. N.; LUCAS, A. A. T.; SANTOS, P. B. Causas e consequências do processo de salinização dos solos. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 2, p. 1308-1324, 2015.

PEDROZA, M. M. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, v. 11, n. 16, p. 149-160, 2010.

PEREIRA, D. C.; WILSEN NETO, A.; NÓBREGA, L. H. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Varia Scientia Agrárias**, v. 3, n. 2, p. 159–174, 2013.

PEREIRA NETO, J. T. On the Tratment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Aproach. **University of Leeds**, p. 839-845, 1987.

PIAZON, M. **Nutrição mineral e produção de óleo essencial em plantações de *corymbia citriodora* fertilizado com composto orgânico de lodo de esgoto**. 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

PIGOZZO, A. T. J. **Disposição de lodo de esgoto: acúmulo de metais pesados no solo e em plantas de milho (*Zea mays* L.)**. 2003. 200p. Tese (Doutorado em

Agronomia/ Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2003.

PITOMBO, L. M. **Estoques de carbono e nitrogênio e fluxos de gases do efeito estufa em solo com diferentes históricos de aplicação de lodo de esgoto**. Instituto agrônomo. (Curso de pós-graduação em agricultura tropical e subtropical/ Mestrado/ Área de Concentração em Gestão de Recursos Agroambientais). Campinas, 2011.

PIVELI, R. P. Curso: **“Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos”**. Aula 11 - Nutrientes: compostos de nitrogênio e fósforo em águas. 2011.

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

POGGIANI, F.; SILVA, P. H. M. GUEDES, M. C. Uso de lodo de esgoto em plantações florestais. In: ANDREOLI, C. V. (Org.). **Alternativas de uso de resíduos do saneamento**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 159-188.

POSCHENRIEDER, C. et al. A glance into aluminum toxicity and resistance in plants. **Science of the total environment**, v.400, n.1-3, p. 356-368, ago. 2008.

R CORE TEAM R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C., eds. **Boletim Técnico 100 - Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas, Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. p.8-13.

RAIJ, van B.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA H.; QUAGGIO, J. A. (Org.) **Análise Química para Avaliação da Fertilidade de Solos Tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), 2001. 285p.

RIBEIRO, A.C. et al. **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.

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

SABEY, B.R. The use of sewage sludge as a fertilizer. **Environmental Engineering Series**, v. 72, p.108-112, 1974.

SIGOLO, J. B.; PINHEIRO, C. H. R. Lodo de Esgoto da ETE Barueri - SP: Proveniência do Enxofre Elementar e Correlações com Metais Pesados Associados. **Revista do Instituto de Geociências – USP**. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 10, n. 1, p. 39-51, 2010.

SILVA, I.R. et al. Responses of eucalypt species to aluminum: the possible involvement of low molecular weight organic acids in the Al tolerance mechanism. **Tree Physiology**, v. 24, p.1267-1277, 2004.

SILVA, P. H. M.; POGGIANI, F. P.; GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L. Volume de madeira e concentração foliar de nutrientes em parcelas experimentais de *Eucalyptus grandis* fertilizadas com lodos de esgoto úmido e seco. **R. Árvore**, v. 32, n. 5, p.845-854, 2008.

SILVA, P. H. M; POGGIANI, F. Lodo de Esgoto Tratado (biossólido) em Plantações Florestais. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, 2005.

SMITH, H. V.; GRIMASON, T. M.; HOLLAND, C. *Ascaris lumbricoides*. In: AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (Denver). **Waterborne Pathogens**. 1999. Cap. 24. p. 171-180.

SMITH, S. R. Organic contaminants in sewage sludge (biosolids) and their significance for agricultural recycling. **Philosophical Transactions of the Royal Society a-Mathematical Physical and Engineering Sciences**, v. 367, n. 1904, p.4005-4041, 2009.

SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Ministério das Cidades. **Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental**. Brasília, 2017.

SOBRINHO, P. A. Tratamento de esgoto e geração de lodos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Org.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP. EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. p. 11-24.

SUI, Y. & THOMPSON, M.L. Phosphorus sorption, desorption, and buffering capacity in a biosolids-amended mollisol. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 64, p. 164-169, 2000.

TAHARA, K. et al. Role of aluminum-binding ligands in aluminum resistance of *Eucalyptus camaldulensis* and *Melaleuca cajuputi*. **Plant and Soil**, v. 302, n. 1-2, p.175-187, 2008.

THOMAZ-SOCCOL, V. et al. Organismos patogênicos presentes em lodo de esgoto a ser aplicado no solo e a Resolução nº 375 do CONAMA. In: COSCIONE, A. R.; NOGUEIRA, T. A. R.; PIRES, A. M. M. **Uso agrícola do lodo de esgoto: avaliação após a Resolução nº 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 83-111.

TOLEDO, M. A. S. **Efeito da aplicação de lodo de esgoto compostado na fertilidade do solo e no crescimento inicial de pinus e eucalipto**. 2013. 70 p. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013. (Dissertação não disponível)

TRANNIN, I. C. B.; SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S. Atributos químicos e físicos de um solo tratado com biossólido industrial e cultivado com milho. **R. Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 223–230, 2008.

TSUTYA, M. T. Alternativas de disposição final de bio sólidos gerados em estações de tratamento de esgotos. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O.A. (Org.). **Impacto do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna, SP. Embrapa Meio Ambiente, 2000. p. 69-105.

VIEIRA, F.C.B. et al. Organic amendment effect on the transformation and fractionation of aluminum in acidic sandy soil. **Communications in soil science and plant analysis**, v. 39, p. 2678-2694, 2008.

VISENTIN, R. **Viabilidade econômica da compostagem do lodo de esgoto para fins agrícolas**. 2019. 69 p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.

WADT, P. G. S.; NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. H.; FONSECA, S. BARROS, N. F. Valores de referência para macronutrientes em eucalipto obtidos pelos métodos dris e chance matemática. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 22, p. 685-692, 1998.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. Composts specifications for the production and characterization of composts from municipal solid waste. In Compost: production, quality and use, M de Bertoldi, M.P. Ferranti, P.L'Hermite, F.Zucconi eds. **Elsevier Applied Science**, p. 30-50, 1987.

ZHANG, H.; BASTA, N.; STIEGLER, J. Using biosolids as a plant nutrient source. **Division of Agricultural Sciences and Natural Resource**. Oklahoma State University. CR-2201 Rev. 0812, 2001.

Apêndice A - Concentração nitrogênio, fósforo e potássio nos galhos e caule do eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

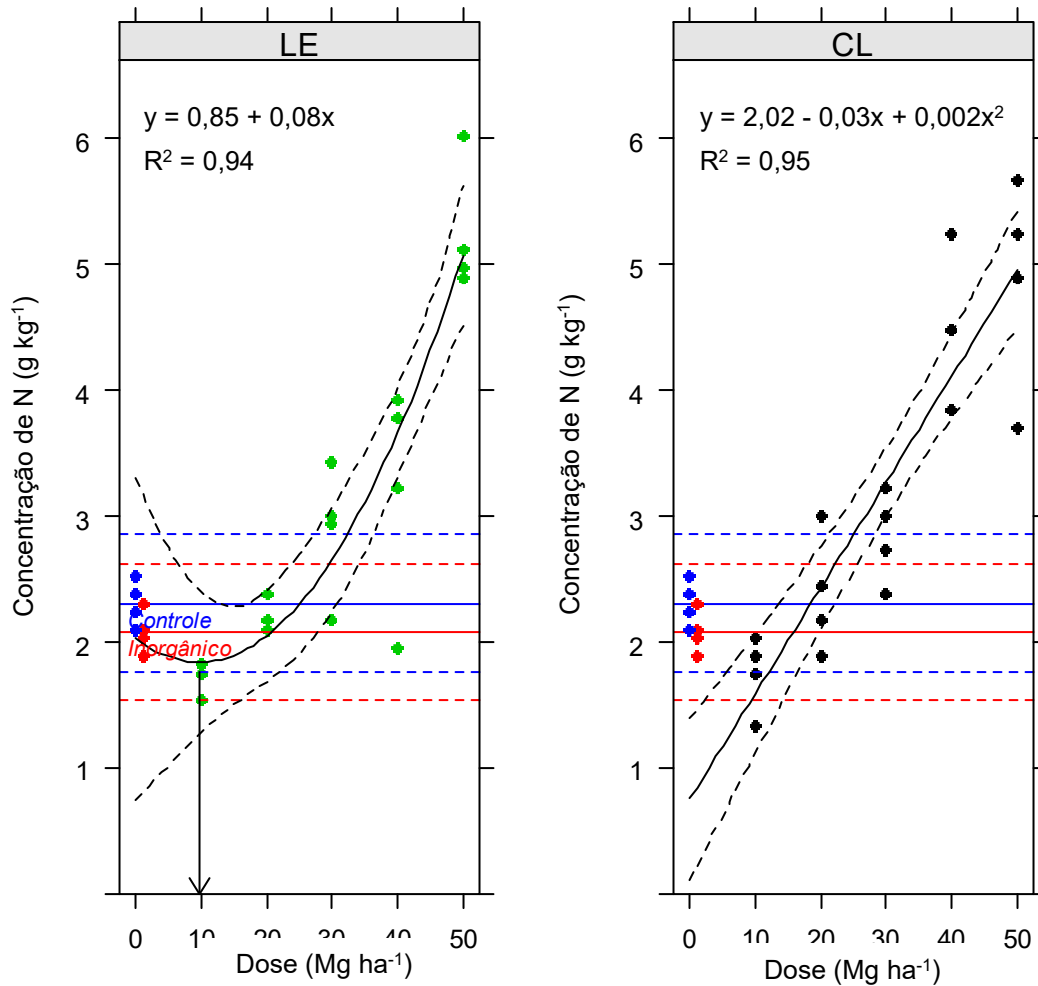
N				
----- mg kg ⁻¹ -----				
Doses	Controle	Adubação Inorgânica	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	2,31 a (0,18)	2,08 a (0,17)	1,73 a (0,13)	1,75 a (0,30)
20 Mg ha ⁻¹	2,31 a (0,18)	2,08 a (0,17)	2,18 a (0,13)	2,38 a (0,47)
30 Mg ha ⁻¹	2,31 a (0,18)	2,08 a (0,17)	2,88 a (0,52)	2,83 a (0,36)
40 Mg ha ⁻¹	2,31 bc (0,18)	2,08 c (0,17)	3,22 b (0,89)	4,51 a (0,57)
50 Mg ha ⁻¹	2,31 b (0,18)	2,08 b (0,17)	5,25 a (0,52)	4,88 a (0,84)
Modelo Significativo	-	-	Quadrático	Linear
FV:	FOxD* FatxAd* FO ^{ns} e D*			

P				
----- mg kg ⁻¹ -----				
Doses	Controle	Adubação Inorgânica	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	0,19 ab (0,00)	0,28 b (0,08)	0,39 a (0,08)	0,46 a (0,02)
20 Mg ha ⁻¹	0,19 bc (0,00)	0,28 c (0,08)	0,46 ab (0,03)	0,54 a (0,06)
30 Mg ha ⁻¹	0,19 bc (0,00)	0,28 c (0,08)	0,45 b (0,06)	0,71 a (0,14)
40 Mg ha ⁻¹	0,19 bc (0,00)	0,28 c (0,08)	0,44 b (0,10)	0,82 a (0,19)
50 Mg há ⁻¹	0,19 c (0,00)	0,28 c (0,08)	0,63 b (0,11)	0,83 a (0,22)
Modelo Significativo	-	-	Linear	Linear
FV:	FOxD* FatxAd* FO* e D*			

K				
----- mg kg ⁻¹ -----				
Doses	Controle	Adubação Inorgânica	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	4,47 a (0,28)	4,27 a (0,51)	4,37 a (0,41)	3,82 a (0,43)
20 Mg ha ⁻¹	4,47 bc (0,28)	4,27 c (0,51)	3,40 ab (0,53)	3,72 a (0,49)
30 Mg ha ⁻¹	4,47 b (0,28)	4,27 b (0,51)	2,77 a (0,22)	2,95 a (0,31)
40 Mg ha ⁻¹	4,47 b (0,28)	4,27 c (0,51)	2,52 a (0,05)	3,47 a (0,27)
50 Mg ha ⁻¹	4,47 b (0,28)	4,27 b (0,51)	3,02 a (0,55)	3,17 a (0,22)
Modelo significativo	-	-	Quadrático	Linear
FV:	FOxD* FatxAd* FO ^{ns} e D*			

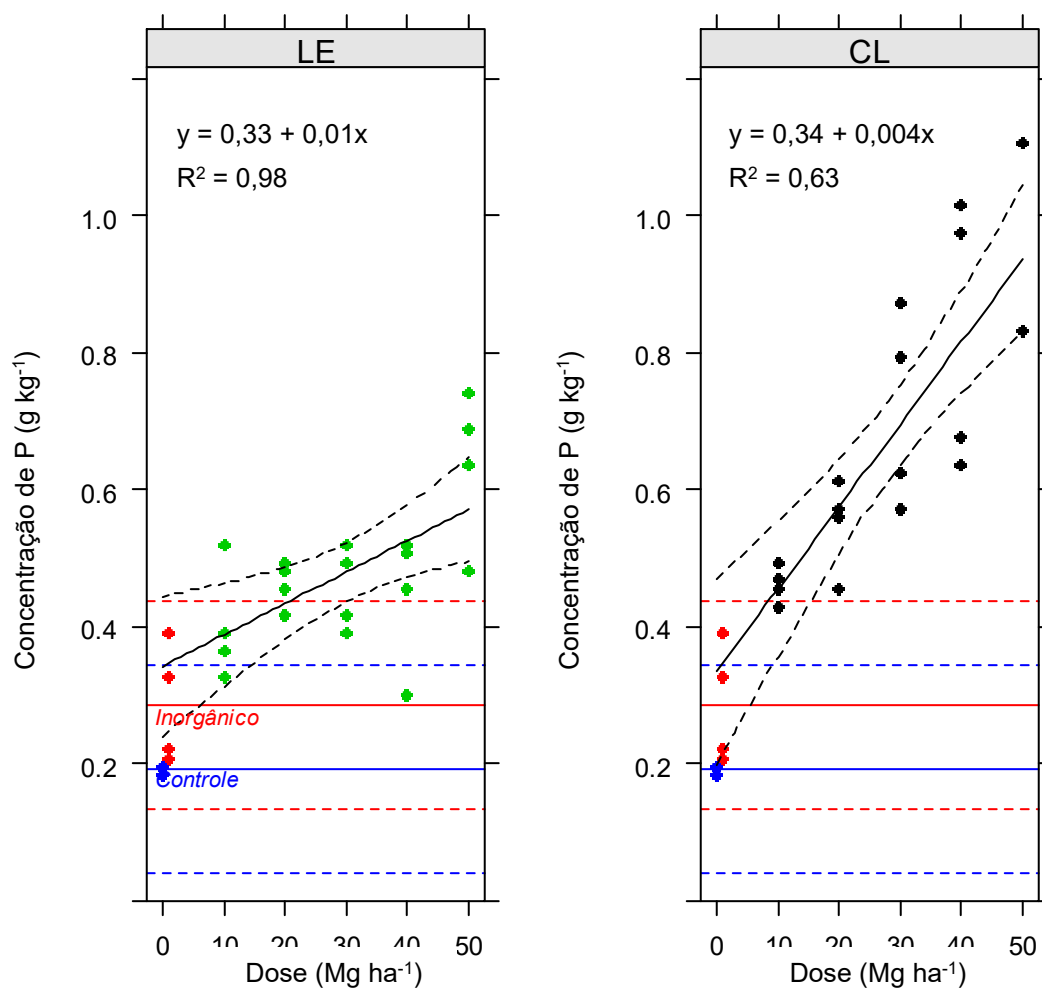
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância); FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Apêndice B - Concentração de N nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



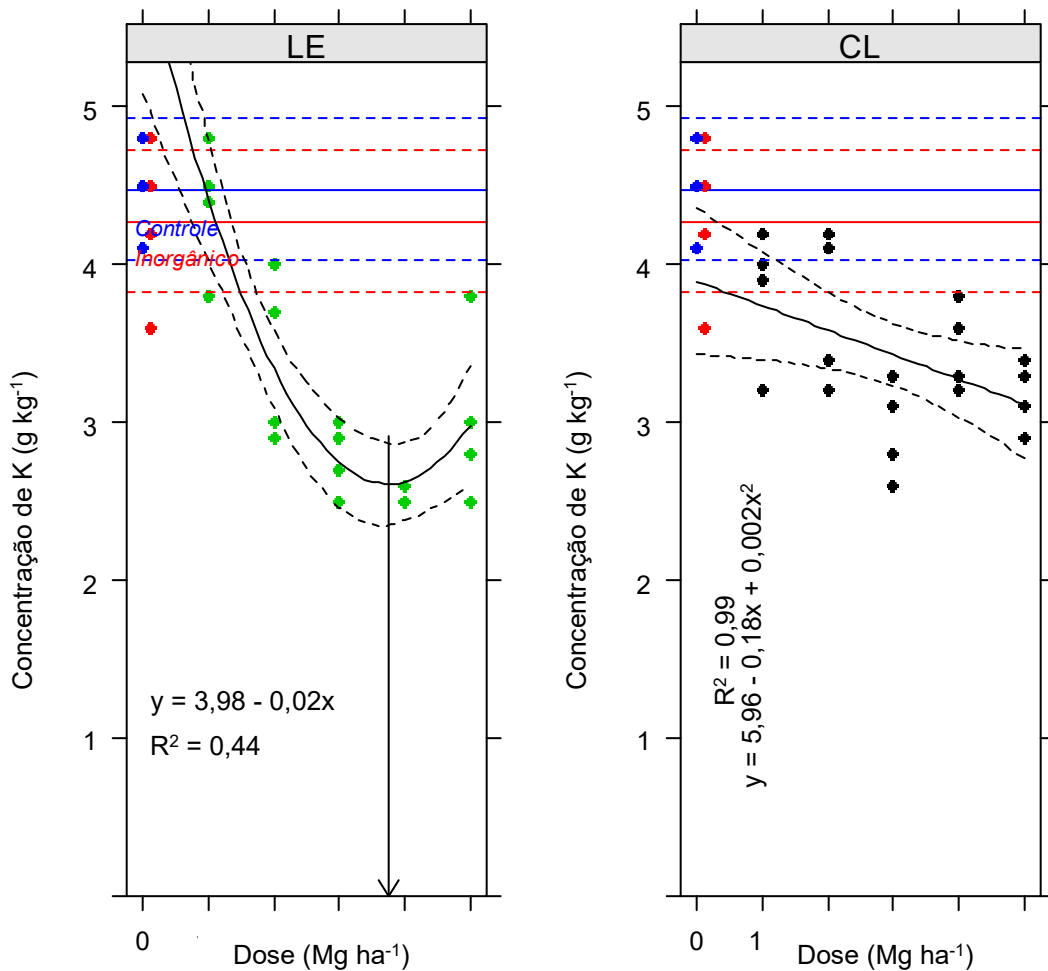
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice C - Concentração de P nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice D - Concentração de K nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



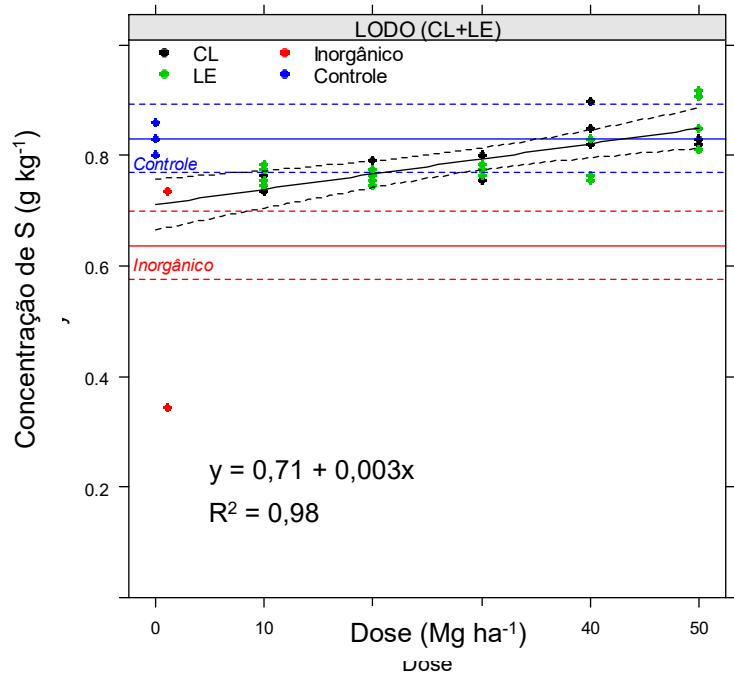
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice E - Concentração do cálcio, magnésio e enxofre nos galhos e caule do Eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	Ca		Mg		S	
	----- mg kg ⁻¹ -----					
Controle	7,55 a (0,33)		1,50 a (0,14)		0,83 a (0,02)	
Adubo Inorgânico	5,67 b (0,41)		1,67 a (0,20)		0,63 b (0,19)	
LE	6,14 b (0,73)		1,09 c (0,09)		0,79 a (0,05)	
CL	6,18 b (0,81)		1,24 (0,11)b		0,78 a (0,05)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	5,82 (0,79)	5,80 (0,90)	1,15 (0,12)	1,12 (0,05)	0,76 (0,01)	0,74 (0,13)
20 Mg ha ⁻¹	6,65 (0,58)	6,32 (0,99)	1,07 (0,09)	1,22 (0,12)	0,75 (0,01)	0,76 (0,02)
30 Mg ha ⁻¹	5,90 (0,68)	6,62 (0,95)	1,10 (0,08)	1,27 (0,05)	0,77 (0,00)	0,76 (0,02)
40 Mg ha ⁻¹	6,25 (1,06)	5,92 (0,53)	1,02 (0,05)	1,27 (0,12)	0,79 (0,04)	0,85 (0,03)
50 Mg ha ⁻¹	6,10 (0,51)	6,22 (0,95)	1,12 (0,09)	1,30 (0,14)	0,87 (0,04)	0,85 (0,04)
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D ^{ns}		FO* e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Apêndice F - Concentração de S nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo.



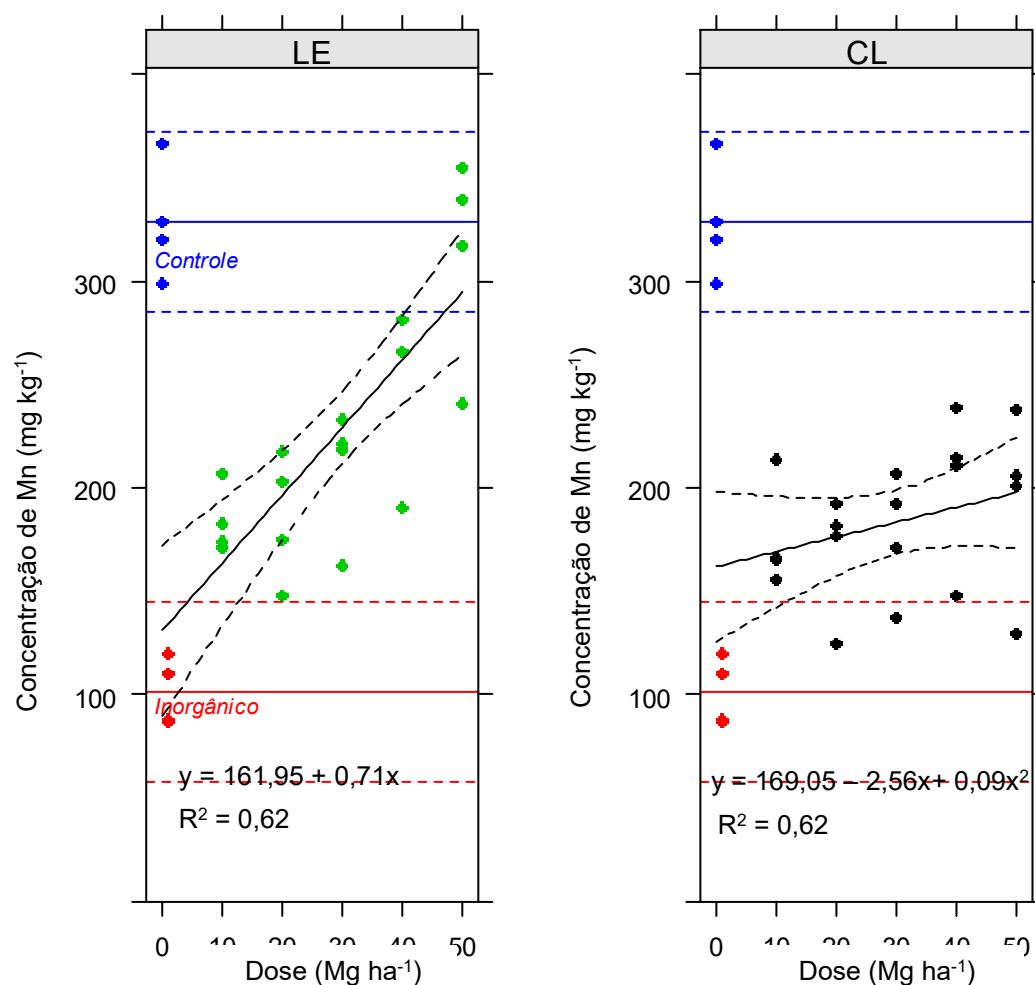
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice G - Concentração do manganês nos galhos e caule do Eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

Mn				
mg kg ⁻¹				
Doses	Controle	Adubo Inorgânico	LE	LEC
10 Mg ha ⁻¹	328,5 a (27,9)	101,3 c (16,4)	183,8 b (16,3)	174,8 b (25,9)
20 Mg ha ⁻¹	328,5 a (27,9)	101,3 c (16,4)	185,8 b (30,6)	169,0 b (29,9)
30 Mg ha ⁻¹	328,5 a (27,9)	101,3 c (16,4)	208,5 b (31,7)	176,8 b (30,3)
40 Mg ha ⁻¹	328,5 a (27,9)	101,3 c (16,4)	254,5 b (43,6)	203,0 b (38,8)
50 Mg ha ⁻¹	328,5 a (27,9)	101,3 c (16,4)	313,0 a (50,5)	193,5 b (46,0)
Modelo	-	-	Linear	Quadrático
Significativo	-	-	Linear	Quadrático
FV:	FOxD* FatxAd ^{ns}			
	FO* e D*			

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Apêndice H - Concentração de Mn nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



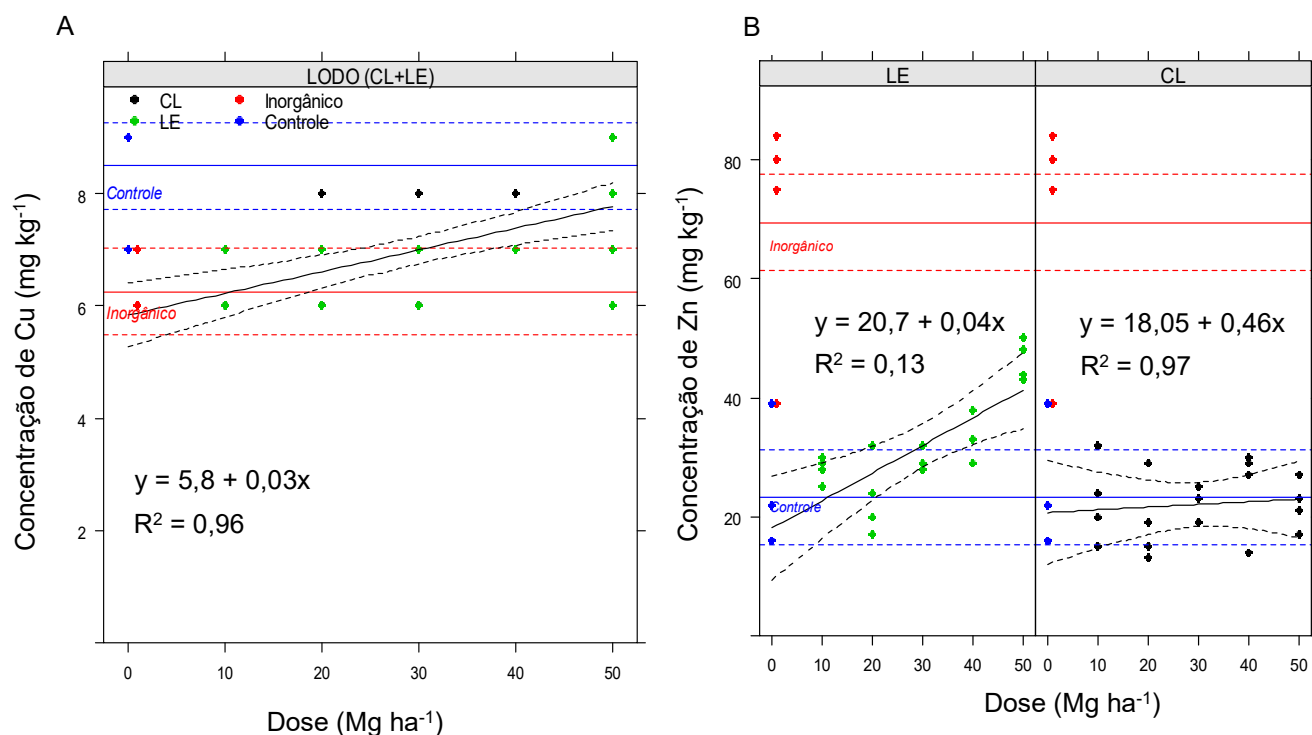
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice I - Concentração do boro, cobre, ferro e zinco dos galhos e caule do Eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	B		Cu		Fe		Zn	
	----- mg kg ⁻¹ -----							
Controle	16,5 a (2,7)		8,5 a (1,0)		134,5 a (105,0)		23,3 bc (10,9)	
Adubo Inorgânico	12,5 b (0,9)		6,3 b (0,5)		111,5 a (62,8)		69,5 a (20,7)	
LE	12,1 b (1,4)		6,8 b (0,8)		107,4 a (141,9)		32,0 b (8,7)	
CL	12,7 b (1,5)		7,2 ab (1,1)		75,1 a (39,8)		22,1 c (5,7)	
LE/CL	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE
10 Mg ha ⁻¹	13,2 (1,7)	13,3 (1,5)	6,3 (0,5)	6,5 (0,6)	110,3 (40,5)	63,8 (13,6)	28,0 (2,2)	22,8 (7,2)
20 Mg ha ⁻¹	13,0 (0,9)	11,7 (1,5)	6,5 (0,6)	6,5 (1,0)	67,0 (40,3)	103,8 (55,6)	23,3 (6,5)	19,0 (7,1)
30 Mg ha ⁻¹	12,3 (1,8)	11,4 (0,2)	6,8 (0,5)	7,0 (1,2)	64,3 (17,9)	78,8 (49,8)	29,3 (1,9)	21,5 (3,0)
40 Mg ha ⁻¹	12,3 (1,2)	12,5 (1,4)	7,0 (0,0)	7,8 (0,5)	75,0 (31,5)	78,5 (45,2)	33,3 (3,7)	25,0 (7,4)
50 Mg ha ⁻¹	12,8 (2,3)	11,5 (1,5)	7,5 (1,3)	8,3 (0,9)	220,5 (315,8)	50,5 (10,7)	46,3 (3,3)	22,0 (4,2)
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO*e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses .

Apêndice J - Concentração de Cu (A) e Zn (B) nos galhos e caule do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



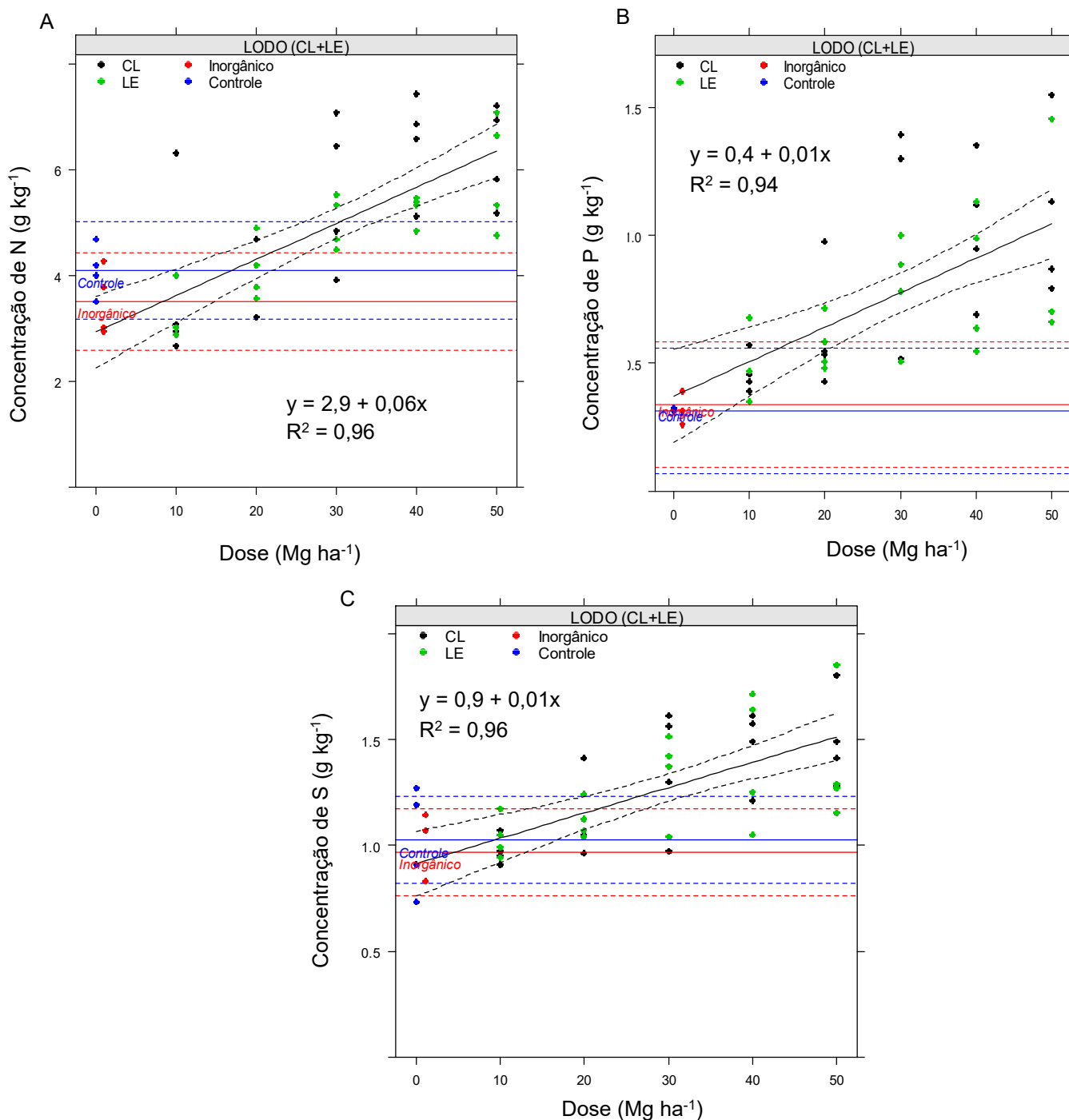
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice K - Concentração dos macronutrientes das raízes do Eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica e doses de lodo de esgoto e composto de lodo

	N		P		K		Ca		Mg		S	
	----- mg kg ⁻¹ -----											
Controle	4,1 ab (0,5)		0,3 b (0,07)		2,8 ab (0,4)		4,7 a (0,2)		3,5 a (2,3)		1,0 a (0,2)	
Adubo Inorgânico	3,5 b (0,6)		0,3 b (0,06)		2,6 b (1,0)		4,0 a (0,5)		2,8 a (2,0)		1,0 a (0,2)	
LE	4,8 ab (1,1)		0,7 a (0,3)		3,0 ab (0,4)		4,7 a (0,7)		1,3 b (0,2)		1,3 a (0,3)	
CL	5,2 a (1,6)		0,8 a (0,36)		3,5 a (0,7)		4,5 a (0,7)		1,4 b (0,2)		1,3 a (0,3)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	3,5 (0,6)	3,7 (1,7)	0,5 (0,1)	0,5 (0,07)	3,5 (0,7)	3,1 (0,5)	4,1 (0,7)	4,1 (1,2)	1,2 (0,2)	1,4 (0,3)	1,0 (0,09)	0,9 (0,06)
20 Mg ha ⁻¹	4,1 (0,6)	3,9 (0,6)	0,6 (0,1)	0,6 (0,2)	3,7 (0,4)	3,2 (0,5)	4,6 (0,7)	4,3 (0,4)	1,4 (0,3)	1,3 (0,3)	1,1 (0,08)	1,1 (0,2)
30 Mg ha ⁻¹	5,0 (0,5)	5,6 (1,4)	0,8 (0,2)	0,9 (0,4)	3,3 (0,9)	2,8 (0,3)	4,6 (0,3)	4,9 (0,1)	1,3 (0,1)	1,4 (0,2)	1,3 (0,2)	1,4 (0,3)
40 Mg ha ⁻¹	5,3 (0,3)	6,5 (0,9)	0,8 (0,3)	1,0 (0,3)	3,8 (0,8)	2,8 (0,5)	5,1 (0,9)	4,5 (0,5)	1,2 (0,2)	1,4 (0,2)	1,4 (0,3)	1,5 (0,2)
50 Mg ha ⁻¹	5,9 (1,1)	6,3 (0,9)	0,9 (0,4)	1,1 (0,3)	3,4 (0,7)	3,3 (0,3)	5,2 (0,6)	4,7 (0,7)	1,3 (0,2)	1,4 (0,1)	1,4 (0,3)	1,5 (0,2)
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd*		FOxD ^{ns} FatxAd*	
	FO ^{ns} e D*		FO ^{ns} e D*		FO*e D ^{ns}		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D*	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Apêndice L - Concentração de N (A), P (B) e S (C) nas raízes do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



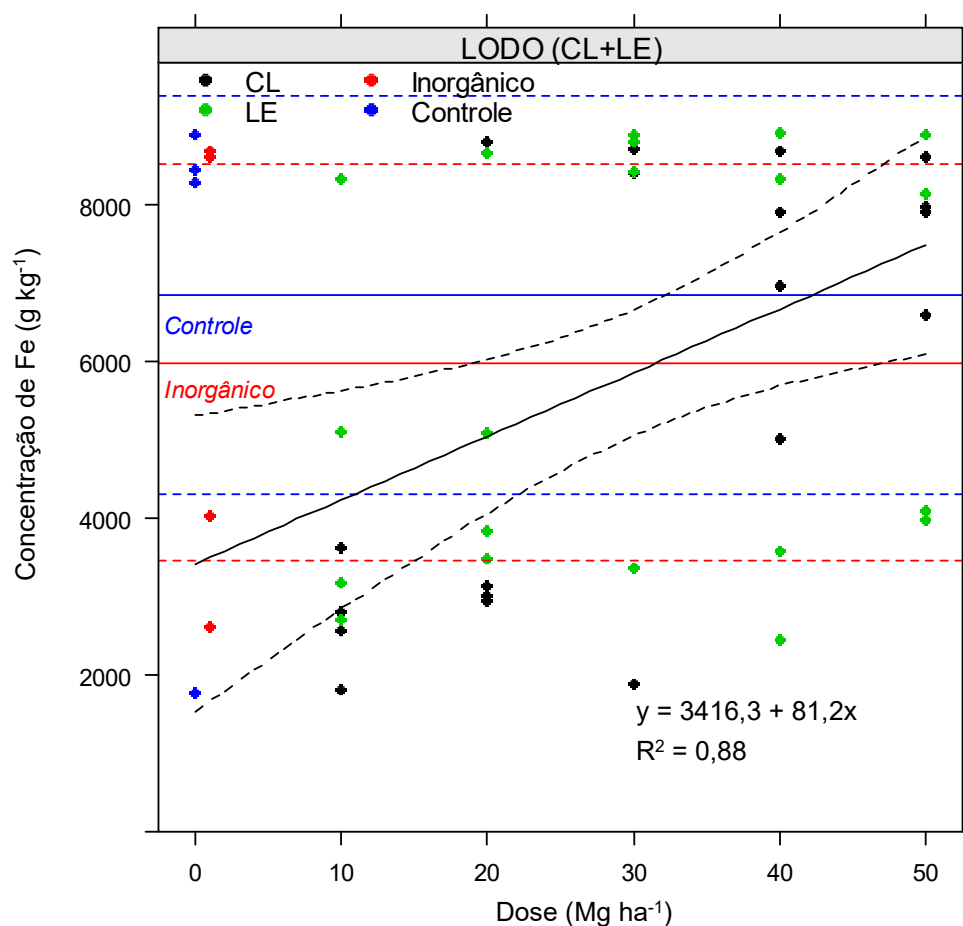
LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).

Apêndice M - Concentração dos micronutrientes das raízes do Eucalipto, após seis meses de experimento, em relação a nenhuma adição de fertilizante (testemunha), adubação inorgânica e doses crescentes de lodo de esgoto puro e compostado

	B		Cu		Fe		Mn		Zn	
	----- mg kg ⁻¹ -----									
Controle	24,8 b (7,8)		21,0 a (9,1)		6842,0 a (3402,8)		55,8 a (19,2)		93,5 bc (81,8)	
Adubo Inorgânico	40,2 a (17,5)		13,5 b (5,7)		5981,5 a (3125,3)		44,8 a (11,5)		190,0 a (115,9)	
LE	29,4 ab (6,7)		13,3 b (3,3)		5906,4 a (2572,9)		51,5 a (8,1)		129,1 ab (38,5)	
CL	28,8 ab (5,7)		13,8 b (3,7)		5799,3 a (2753,5)		44,2 a (4,0)		78,2 c (29,3)	
LE/CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL	LE	CL
10 Mg ha ⁻¹	29,8 (6,2)	24,9 (4,7)	12,0 (1,8)	10,8 (0,9)	4822,5 (2555,6)	2697,0 (745,0)	50,5 (2,6)	42,3 (2,9)	88,5 (19,2)	45,3 (9,3)
20 Mg ha ⁻¹	26,9 (8,3)	27,9 (4,2)	11,3 (0,9)	11,5 (3,0)	5263,0 (2363,1)	4465,5 (2887,6)	48,5 (7,9)	45,3 (6,2)	105,5 (26,0)	59,8 (5,7)
30 Mg ha ⁻¹	32,1 (8,5)	28,9 (7,4)	14,0 (2,0)	15,3 (4,6)	7360,3 (2678,2)	6942,0 (3382,9)	45,5 (3,3)	42,8 (2,6)	136,3 (20,1)	87,8 (37,7)
40 Mg ha ⁻¹	24,1 (3,0)	33,9 (2,8)	14,0 (4,1)	14,8 (2,4)	5812,0 (3275,9)	7133,3 (1587,1)	55,3 (7,8)	44,5 (5,9)	156,8 (47,9)	94,8 (27,8)
50 Mg ha ⁻¹	33,9 (3,9)	28,4 (7,0)	15,3 (5,5)	16,8 (3,9)	6274,0 (2602,9)	7758,8 (851,6)	60,0 (12,2)	45,8 (1,7)	158,3 (21,5)	95,3 (21,4)
FV:	FOxD ^{ns} FatxAd ^{ns}		FOxD ^{ns} FatxAd [*]		FOxD ^{ns} FatxAd [*]		FOxD ^{ns} FatxAd [*]		FOxD ^{ns} FatxAd [*]	
	FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D ^{ns}		FO ^{ns} e D [*]		FO [*] e D ^{ns}		FO [*] e D ^{ns}	

LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). FV (fonte de variação da análise de variância): FOxD (efeito da interação Fertilizante Orgânico e Dose), FatxAd (efeito da interação Fatorial e Tratamentos adicionais), FO (efeito de Fertilizante Orgânico) e D (efeito de Dose). CV% (coeficiente de variação). *=significativo a 5% e ns=não significativo. Médias seguidas de letras minúsculas distintas, nas colunas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância. O desvio padrão está apresentado entre parênteses.

Apêndice N - Concentração de Fe nas raízes do eucalipto, ao final do experimento (seis meses após plantio), em relação a nenhuma adição de fertilizante (controle), adubação inorgânica com calcário e doses de lodo de esgoto e composto de lodo



LE (lodo de esgoto); CL (composto de lodo). As linhas pontilhadas indicam os intervalos de confiança para as respostas médias do controle (linha azul), adubação inorgânica com calcário (linha vermelha) e fertilizante orgânico (linha preta).