

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DANIELA CRISTINA DE SOUZA AFÁZ**

**POTENCIAL DO FERTILIZANTE ORGÂNICO CLASSE D NO  
CULTIVO INICIAL DE EUCALIPTO**

**Araras**

**2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**DANIELA CRISTINA DE SOUZA AFÁZ**

**POTENCIAL DO FERTILIZANTE ORGÂNICO CLASSE D NO  
CULTIVO INICIAL DE EUCALIPTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura e Ambiente.**

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

**CO-ORIENTADOR:** Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani

**Araras**

**2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da Biblioteca Comunitária UFSCar  
Processamento Técnico  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A256p

Afáz, Daniela Cristina de Souza

Potencial do fertilizante orgânico classe D no cultivo inicial de eucalipto / Daniela Cristina de Souza Afáz. -- São Carlos : UFSCar, 2016.  
40 p.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2016.

1. Eucalyptus. 2. Lodo de esgoto. 3. Sivicultura.  
I. Título.

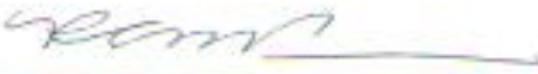
MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
DE  
**DANIELA CRISTINA DE SOUZA AFÁZ**  
APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA E  
AMBIENTE, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, EM 18 DE JULHO DE  
2016.

BANCA EXAMINADORA:

  
Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza  
UFSCar

  
Prof. Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani  
UFSCar

  
Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos  
UFSCar

  
Profa. Dra. Regina Célia Matos Pires  
IAC

A Deus, por nos fortalecer

em todos os momentos.

Ao meu companheiro André Afáz,

pelo amor, companheirismo, confiança, por tudo.

**DEDICO**

## ***AGRADECIMENTOS***

Ao criador pela oportunidade dessa vida, pela consciência;

A minha mãe Olivia pelo vida e a minha segunda mãe Márcia por todo apoio aos meus projetos de vida, pelo carinho e amor;

Aos meus amigos Amanda Mulato, Humberto Ávila, Ana Cristina, pelas palavras de incentivos e muitas vezes por revisarem meu trabalho.

Ao meu orientador, o professor Claudinei, por acreditar no meu potencial muitas vezes mais do eu mesma, pela oportunidade, por todos os ensinamentos, apoio, conversas, incentivos de vida.

Ao Professor Dr. Ricardo Augusto Gorne Viani, pelo apoio técnico e atenção.

Ao meu marido André por apoiar meus sonhos, sempre torcer pelo meu sucesso, e pelo otimismo contagiante;

À minha amiga Renata, um anjo que Deus colocou ao meu lado para me ajudar sempre que precisava;

Às amigas Natalia, Thalita, Ana Carolina, Jessica e Ana, pela amizade, as horas de conversa, as risadas, fundamentais para tornar esta caminhada mais leve;

Ao Kaique, meu amigo, estagiário, filho, fundamental para este trabalho, a quem sempre irei nutrir um carinho enorme;

Ao Centro de Ciências Agrárias e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente pela oportunidade, apoio e pela infraestrutura cedida.

À CAPES pela concessão da bolsa de auxílio estudantil.

À empresa Tera Ambiental e ao IPEF pela doação, respectivamente, do fertilizante orgânico e das mudas utilizadas no cultivo;

À turma de pós-graduação do ano de 2014, pela amizade e companhia nos momentos de nervosismo em cada aula e apresentação de trabalho.

Enfim... A todos que participaram desta etapa da minha vida, muito obrigada!

## POTENCIAL DO FERTILIZANTE ORGÂNICO CLASSE D NO CULTIVO INICIAL DE EUCALIPTO

### RESUMO

Os fertilizantes orgânicos são cada vez mais apontados como via alternativa para a agricultura, atuando como condicionador das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e como fonte de nutrientes para as plantas. Este trabalho avaliou a viabilidade do uso de fertilizante orgânico classe D, proveniente da estação de tratamento de esgoto, como fertilizante alternativo para o cultivo de eucalipto. O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias - UFSCar, no município de Araras, SP, em casa de vegetação. Os cultivos ocorreram de novembro de 2014 a janeiro de 2015, totalizando 75 dias. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com cinco tratamentos e sete repetições, em vasos de 11 L. Os tratamentos realizados foram constituídos por uma testemunha (T1) e três tratamentos (T2, T3, T4) com fertilizante orgânico classe D (25%, 50% e 75% do volume do vaso) e um tratamento (T5) com fertilizante convencional, todos em solo arenoso. Irrigação por gotejamento três vezes ao dia foi utilizada, com uma vazão de  $1 \text{ L h}^{-1}$ . A altura das plantas e a condutividade elétrica foram aferidas quinzenalmente, e a taxa de crescimento relativo (TCR), a massa seca e os teores foliares de micro e macronutrientes avaliados ao final do experimento. Os valores de massa seca, taxa de crescimento relativo e dados nutricionais foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A altura não apresentou diferença significativa em nenhum dos tratamentos. A TCR foi maior no T3 e no T5 ( $p < 0,01$ ). As plantas dos tratamentos fertilizados tiveram mais macro e micronutrientes nas folhas do que as do tratamento testemunha, e, de modo geral, dentro dos níveis adequados para a cultura do eucalipto. A condutividade elétrica foi incrementada à medida que se aumentou a porcentagem de fertilizante orgânico Classe D no substrato, o que é justificado pela presença da carga de sais no composto, entretanto, não promoveu salinidade às plantas. Assim, o fertilizante orgânico se mostrou com potencial para substituir fertilizantes minerais convencionais, no cultivo de eucalipto.

Palavras-chave: Lodo de esgoto, Eucalyptus, siveicultura.

POTENTIAL OF CLASS D ORGANIC FERTILIZER AS SOIL CONDITIONER FOR  
INICIAL CULTIVATION OF EUCALYPTUS

ABSTRACT

Organic fertilizers are increasingly identified as an alternative route for agriculture, acting as a conditioner of soil physical, chemical and biological properties, and as a source of nutrients for crops. Therefore, this study evaluated the feasibility of use for a “class D” organic fertilizer obtained from a sewage treatment plant, as an alternative fertilizer for eucalyptus cultivation. The experiment was conducted in Agricultural Science Center - UFSCar, in Araras, SP, in a greenhouse. Cultivation occurred from November 2014 to January 2015, totalizing 75 days. We adopted a complete randomized design, with five treatments and seven repetitions, with plants cultivated in 11 L pots. The tests considered a testimony treatment with no fertilization (T1), three treatments (T2, T3, T4) with organic fertilizer addition (25%, 50% and 75% of the pot volume) and treatment (T5) with conventional fertilizers, all in sandy soil. Drip irrigation three times a day was used with a flow rate of 1 L h<sup>-1</sup>. We measured plant height and soil electrical conductivity every two weeks. Relative growth rate (RGR), plant dry mass and leaf micro and macronutrients concentration were evaluated at the end of the experiment. Plant dry mass, relative growth rate and nutritional data were submitted to analysis of variance and the means compared by Tukey test at 5% probability. We found no significant differences in plant height. Treatments T3 and T5 had a greater relative growth rate ( $p < 0.01$ ). Plants from the fertilized treatments had more leaf macro and micronutrients when compared to the testimony and, in general, leaf nutrient values were within reference values for eucalyptus growth. Soil electrical conductivity increased with the increase in the percentage of organic fertilizer in the soil, what is explained by its content of salts charges. However, the organic fertilizer did not promote salinity to plants. Thus, we conclude that the “class D” organic fertilizer we tested is a potential substitute of conventional mineral fertilization for eucalyptus cultivation.

Keywords: Sludge, Eucalyptus, forestry.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Processo de produção do Fertilizante Classe D através da compostagem do lodo de esgoto. Fonte: Tera Ambiental, 2015. ....	13
Figura 2: Distribuição ao acaso dos tratamentos avaliados dentro da casa de vegetação. ....	17
Figura 3: Imagem da disposição dos vasos na casa de vegetação. ....	17
Figura 4: Material retirado para quantificação da massa seca final P2: a) Raízes b) Folhas. ..	19
Figura 5: Sondas de TDR utilizadas para o monitoramento da umidade e condutividade elétrica do solo.....	19
Figura 6: Resultados médios da altura (cm) ao 75 dias de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Tratamentos não diferem entre si (ANOVA, $p > 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25 % de fertilizante orgânico; T3: 50 % de fertilizante orgânico; T4: 75 % de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.....	21
Figura 7: Resultados médios da Taxa de Crescimento Relativo ( $g\ g^{-1}$ período/dia), após 75 dias de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Barras com letras diferentes diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.....	23
Figura 8: Resultados médios da Massa Seca Total ( $g\ planta^{-1}$ ), mais o desvio padrão após 75 dias de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Barras com letras diferentes diferem entre si (teste de Tukey, $p < 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.....	24
Figura 10: Teores médios de micronutrientes nas folhas de eucalipto cultivado em casa de vegetação, sob diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Faixa em vermelho: teores adequados para o eucalipto (RAIJ et al. 1997). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.....	27
Figura 11. Condutividade elétrica média no substrato dos diferentes tratamentos durante o período de cultivo de eucalipto em casa de vegetação. T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.....	29

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Faixas de teores de macronutrientes considerados adequados na matéria seca de folhas de <i>Eucalyptus</i> (plantas adultas). .....	10
Tabela 2: Caracterização química do fertilizante orgânico classe D utilizado em experimento com cultivo de eucalipto.....	13
Tabela 3: Caracterização química do solo arenoso .....	15
Tabela 4: Análise de variância da altura final das plantas de eucalipto de cada tratamento (cm planta <sup>-1</sup> ) ao final do período em casa de vegetação. ....	21

## SUMÁRIO

RESUMO .....	5
ABSTRACT .....	6
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1 A destinação do lodo de esgoto e suas restrições para aplicação direta na agricultura ....	4
3.2 Processo de compostagem do lodo de esgoto .....	7
3.3 Cultivo e fertilização do eucalipto .....	8
3.4 Monitoramento da condutividade elétrica do solo.....	10
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
4.1 Considerações gerais sobre processo de obtenção do fertilizante orgânico .....	11
4.2 Caracterização química do fertilizante orgânico classe D .....	13
4.3 Análise microbiológica .....	14
4.4 Solo utilizado na condução do experimento .....	14
4.5 Estrutura Experimental .....	15
4.6 Análises do crescimento de eucalipto .....	18
4.7 Análise química do tecido vegetal foliar .....	19
4.8 Análise do monitoramento elétrico.....	19
4.9 Análise estatística dos dados.....	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	20
5.1 Análise Microbiológica.....	20
5.2 Altura das plantas.....	20
5.2.1 Análise da Taxa do Crescimento Relativo e massa seca.....	21
5.2.2 Análise química do tecido foliar.....	24
5.2.3 Condutividade elétrica.....	28
6. CONCLUSÃO.....	30
7. BIBLIOGRAFIA .....	31
APÊNDICES .....	37

## 1. INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é um resíduo, orgânico obtido ao final do processo de tratamento de águas servidas à população, rico em matéria. A destinação adequada deste resíduo é necessária, devido aos problemas ambientais que podem ser ocasionados. A deposição em aterros sanitários é um sério problema para a contaminação do solo, ar e água e a incineração possui um preço elevado, odor desagradável e produção de gases contaminantes (QUINTANA et al., 2011). Ou seja, há carência de formas seguras e eficazes de processamento e acondicionamento deste importante resíduo.

No Brasil de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SIS – Diagnóstico de Serviço de Água e Esgoto (2014) o volume de esgoto tratado é de 3,764 bilhões de m<sup>3</sup>, correspondendo a 40,9 % da população têm seu esgoto devidamente coletado e tratado. Este cenário é um desafio à destinação do resíduo orgânico. Porém, ao mesmo tempo é uma oportunidade a ser considerada na agricultura, uma vez que cada vez mais há necessidade de se buscar fertilizantes alternativos que diminuam os custos de cultivo agrícolas e que tragam maiores opções aos produtores (VAZ; GONÇALVES, 2002).

O lodo de esgoto tem sido usado em áreas agrícolas e também em áreas degradadas que precisam ser recuperadas, fornecendo nutrientes às plantas e propiciando benefícios às propriedades físicas do solo. O lodo é um condicionador do solo, que facilita a formação de agregados e, conseqüentemente, melhora a aeração, a infiltração e a retenção de água no solo, além de fornecer composto orgânico e nutriente necessário para o desenvolvimento dos cultivos (BONINI; ALVES, 2011).

Ao mesmo tempo em que o lodo de esgoto apresenta benefícios em seu uso agrícola, ocasiona riscos. Em sua composição, o lodo pode apresentar quantidade elevada de metais pesados, além de patógenos, vírus, protozoários e vermes, que podem contaminar o solo, o lençol freático e as plantas cultivadas (SOCCOL, 1997; DORES-SILVA, 2011). Desse modo, sua aplicação direta na agricultura tem restrições.

Uma alternativa para a destinação do lodo de esgoto é a compostagem, que reduz os riscos e impactos ocasionados pela aplicação direta deste resíduo orgânico na agricultura. A compostagem é um processo biológico aeróbio de tratamento de resíduos orgânicos, que acelera a decomposição da matéria orgânica por micro - organismos e enzimas (BUDZIAK et al., 2004). Durante o processo de compostagem, há elevação da temperatura e

alterações na aeração, umidade, relação carbono: nitrogênio, teores de nutrientes e composição de micro-organismos da matéria prima. Estes fatores, em conjunto, reduzem a presença de patógenos, parasitas e contaminantes no lodo de esgoto, tornando-o um produto mais seguro para uso na agricultura (PEREIRA et al., 2013).

Recentemente, fertilizantes passaram a ser produzidos comercialmente a partir da compostagem do lodo de esgoto, gerando os fertilizantes orgânicos de classe D. O fertilizante orgânico classe D é, de acordo com a Instrução Normativa N° 25 de 23/07/2009 do Ministério da Agricultura, o fertilizante de origem orgânica que, em sua produção, utiliza-se de qualquer quantidade de matéria prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, mas que resulta em produto de utilização segura na agricultura (BRASIL, 2009), tendo empresas que comercializam e/ou distribuem estes produtos.

Geralmente, estes fertilizantes orgânicos classe D têm como matéria prima não apenas o lodo de esgoto, mas resíduos diversos (restos de alimentos, resíduos de poda e corte de grama, etc.), adicionados durante o processo de compostagem. Mesmo sendo considerado seguro, há restrições de uso para o fertilizante orgânico classe D, proibido em pastagens, cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, culturas inundadas e demais culturas cuja parte comestível entra em contato com o solo. Entretanto, este pode ser utilizado como fertilizante para espécies florestais, por exemplo, tendo como potenciais vantagens a diminuição das descargas de lodo em aterros sanitários, incineradores, mares e corpos de água, a ciclagem dos nutrientes, o aporte de matéria orgânica no solo, a possibilidade de redução de custos de cultivo com o uso de fertilizantes minerais.

Embora o fertilizante orgânico classe D tenha benefícios potenciais para ser uma nova alternativa para a fertilização na agricultura e em cultivos florestais, há carência de estudos científicos sobre o seu uso. O cultivo de eucalipto é relevante ao país, pois, no ano de 2012, alcançou 6.664.812 ha, área representativa de 76,6 % do total de florestas comerciais plantadas no Brasil (ABRAF, 2013). Desta forma, este trabalho avaliou o potencial do fertilizante orgânico classe D, produzido a partir de lodo de esgoto composto, como condicionador do solo e fertilizante, no cultivo inicial de eucalipto.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar a viabilidade do uso de fertilizante orgânico classe D, proveniente de estação de tratamento de esgoto, como uma fonte alternativa de fertilizante para o cultivo inicial de eucalipto.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar o crescimento das plantas de eucalipto e a concentração de nutrientes em folhas com o uso de fertilizante orgânico classe D;
- Monitorar as alterações causadas pela aplicação do fertilizante orgânico classe D na condutividade elétrica do solo.
- Indicar a melhor dose de fertilizante classe D para o desenvolvimento do eucalipto, com base na comparação em relação ao crescimento das plantas e alterações na condutividade elétrica do solo, com a fertilização mineral convencional;

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 A destinação do lodo de esgoto e suas restrições para aplicação direta na agricultura**

Na década de 1950 teve início o sistema de saneamento básico no Brasil, que atingiu seu auge nas décadas de 1970 e 1980, quando predominava a visão de que avanços nas áreas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário nos países em desenvolvimento resultariam na redução das taxas de mortalidade (SOARES et al., 2002).

O tratamento do esgoto doméstico e industrial é necessário para o controle do saneamento básico e da saúde da população. O esgoto pode ser tratado por diversos processos, entre eles o biológico, que resulta em dois tipos de resíduos: o efluente líquido pronto para ser devolvido ao ambiente e o lodo (GODOY, 2013).

O lodo de esgoto é o resíduo sólido de maior volume gerado durante os processos de tratamento de efluentes. Ele possui uma consistência pastosa com grande concentração de micro-organismos, sólidos orgânicos e minerais. Este resíduo apresenta características indesejáveis, tais como odores desagradáveis, presença de micro-organismos patogênicos, elementos tóxicos de origem orgânica ou mineral e dificuldade de desidratação (CASTRO et al., 2015).

Em 2010, estimativas apontavam uma produção nacional de 150 a 220 mil toneladas de matéria seca de lodo por ano, considerando que o tratamento de esgoto atingia apenas 30% da população urbana (PEDROZA et al., 2010). Seguindo-se as tendências do crescimento dos índices de coleta e tratamento de esgotos, ocorrerá um crescimento proporcional de produção de lodo no Brasil, cuja disposição final tem sido um problema para a maioria das estações de tratamento de esgoto, que não dispõem de uma alternativa consistente para o destino final deste resíduo (PEDROZA et al., 2010).

O maior desafio hoje é que o lodo não seja depositado nos corpos receptores (rios, lagos, oceanos e solo) (GUEDES et al., 2006). Para evitar isto, a destinação do lodo de esgoto pode ocorrer de diferentes formas. Os métodos mais comuns para a disposição final de lodos residuais são eliminação em aterros sanitários, incineração e aplicação na agricultura. Entretanto, nenhum dos métodos utilizados está isento de inconvenientes (PEDROZA et al., 2010).

O depósito do resíduo nos aterros sanitários é a destinação mais comum para o lodo de esgoto das estações de tratamento brasileiras, porém, possui um elevado custo à sociedade (PEDROZA et al., 2010). O grande inconveniente dessa prática é a diminuição da

vida útil dos aterros destinados à deposição dos outros resíduos sólidos urbanos. A incineração é uma alternativa, porém, é um poluidor atmosférico e o seu custo também é elevado, além de demandar uma grande quantidade de energia. Já a utilização do lodo de esgoto para fins agrícolas é considerada a melhor condição para o descarte deste resíduo, trazendo benefícios econômicos e nutricionais para os cultivos e, principalmente, para o meio ambiente. QUINTANA et al. (2011).

A matéria orgânica pode ser considerada o indicador mais simples e está entre os mais importantes para medir a qualidade do solo e, conseqüentemente, do agro ecossistema (NOVAIS et al., 2007). Conforme NOVAIS et al., (2007), a matéria orgânica:

1. Estabiliza e agrega partículas de solo, reduzindo a erosão;
2. Provê uma fonte de C e energia para os micro-organismos do solo;
3. Melhora o armazenamento e o fluxo de água e de ar no solo;
4. Armazena e provê nutrientes como N, P, e S.
5. Mantém o solo menos compactado e mais fácil de trabalhar;
6. Retém C da atmosfera e de outras fontes;
7. Retém nutrientes como Ca, Mg e K, pois aumenta a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) do solo;
8. Serve para reduzir possíveis efeitos ambientais negativos decorrentes de uso inadequado de pesticidas ou de disposição de poluentes no solo.

Nos solos que apresentam características físicas de solos degradados, especialmente os de textura arenosa, o uso de materiais orgânicos, como o lodo de esgoto, é extremamente benéfico. Um dos principais efeitos da matéria orgânica sobre os atributos físicos do solo está associado ao grau de agregação que, conseqüentemente, altera a densidade, a porosidade, a aeração e a capacidade de retenção e infiltração de água (SOUZA et al., 2005; SAMPAIO et al., 2012).

Desse modo, quando aplicado no cultivo de espécies arbóreas ou na recuperação de áreas degradadas, o lodo traz benefícios às propriedades físicas do solo (BONINI; ALVES 2011). Ele melhora a densidade, porosidade, umidade, capacidade de retenção de água, aumenta a fertilidade do solo, eleva o pH, reduz o teor de alumínio trocável e aumenta a CTC (FRANCO et al., 2010; SAMPAIO et al., 2012). Além disso, no cultivo de *Eucalyptus grandis*, a aplicação de lodo aumentou o teor de matéria orgânica do solo (LIRA et al., 2008). Já no cultivo de eucalipto em casa de vegetação, o resíduo aumentou o crescimento das plantas (GARCIA et al. 2010).

O lodo de esgoto pode também ser empregado como substrato para o cultivo de mudas florestais. Nesses casos, os problemas com a contaminação ambiental por elementos potencialmente tóxicos são minimizados, visto que a quantidade de substrato é insignificante perto do volume de solo em que essas mudas são plantadas e a produção não é voltada para o consumo humano ou animal, reduzindo a possibilidade de contaminação do homem (SANTOS et al., 2014).

Embora o lodo de esgoto aplicado na agricultura traga benefícios, sua aplicação direta nos cultivos apresenta diversos inconvenientes e deve ser cautelosa. Além de nutrientes e metais pesados, o lodo pode conter patógenos, como bactérias, vírus, protozoários e vermes que, inevitavelmente, estarão presentes nesses resíduos. As quantidades e as espécies destes patógenos variam com as condições socioeconômicas da população, hábitos sanitários e com a eficiência dos processos de tratamento, os quais reduzem, mas não eliminam completamente a presença desses organismos (SOCCOL, 1997). Desse modo, na aplicação agrícola do lodo, devem ser tomados cuidados especiais em relação à localização, forma e dose de aplicação, de forma a não ocorrer à contaminação do solo, nascentes, cursos d'água e lençóis freáticos (VAZ; GONÇALVES, 2002).

O uso do lodo de esgoto na agricultura é controlado através de diversas normas, tais como a classificação dos fertilizantes, dada pela Instrução Normativa DAS nº. 25, de 23/07/2009, que classifica os fertilizantes orgânicos de acordo com suas características (BRASIL, 2009):

“Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura; Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura; Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização na agricultura”.

Já a Resolução do CONAMA 375 do ano de 2006 restringe a aplicação de lodo de esgoto em alguns cultivos:

“É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo”.

Ainda de acordo com a resolução do CONAMA 375, o uso do lodo de esgoto é recomendado para zonas de amortecimento e unidades de conservação, desde que sigam as normas estabelecidas pelo órgão competente e os seus derivados na agricultura podem ser utilizados desde que respeitem os limites de concentração (BRASIL, 2006). Por fim, a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) afirma a necessidade da destinação adequada dos resíduos e a redução da quantidade de lodo de esgoto destinado em aterro sanitário (BRASIL, 2010).

Desse modo, embora o uso do lodo de esgoto na agricultura seja uma destinação interessante para este resíduo, questões legais e ambientais restringem sua aplicação direta nestes cultivos em larga escala. Uma alternativa para superar estes inconvenientes, é a compostagem do lodo de esgoto, pois, ao ser misturado com outros resíduos e dispostos em pilhas de compostagem, ocorre o processo de elevação da temperatura, que promove a desinfecção do lodo de esgoto, podendo-se obter como produto final um composto mais seguro e com alto valor comercial.

### **3.2 Processo de compostagem do lodo de esgoto**

A compostagem é o resultado do processo de tratamento dos resíduos orgânicos seja ela de origem urbana, industrial, agrícola e florestal, a compostagem é definida como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de micro-organismos, 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. (PEREIRA NETO, 1987).

O composto orgânico estimula a proliferação de micro-organismos úteis e, quando aplicado ao solo, melhora suas qualidades físicas, agregando os solos arenosos, aumentando a capacidade de retenção de água e nutrientes, contribuindo para a redução do alumínio trocável do solo, facilitando o arejamento e reduzindo a erosão ocasionada pelas chuvas (REBOLLIDO et al., 2008). Facilita também a drenagem, aumentando a capacidade de absorção e fornecendo substâncias que estimulam o crescimento das plantas, atuando no

aumento do pH e nos teores de cátions trocáveis, sendo que todas as alterações dependem da quantidade, qualidade e das características do substrato que o compõem (GOMES et al., 1996).

Durante o processo de compostagem são produzidos substâncias húmicas, estabilizadas com propriedades e características completamente diferentes do material de origem. Nesse processo são disponibilizados importantes nutrientes para as raízes das plantas, e húmus, que, como condicionador, melhora as características físicas, químicas e biológicas do solo (KIEHL, 1985; BONINI et al., 2015).

A matéria orgânica é transformada por micro-organismos, sendo que alguns fatores como relação C/N, umidade, temperatura e aeração interagem entre si, favorecendo o desenvolvimento da população microbiana que atua na humificação da matéria orgânica, o que reduz o tempo da compostagem (KIEHL, 1998).

Na compostagem existe a necessidade de manter a porosidade adequada a fim de proporcionar a passagem livre do ar para a oxigenação da leira, pois a umidade fica restrita ao valor máximo, situado em torno de 60%. A compostagem de vegetais secos, como podas de árvore e bagaço-de-cana, exige índices de umidade maiores para facilitar a biodegradação. Nesses casos, a adição de lodo de esgoto, que apresenta umidade em torno de 80%, aumenta a degradabilidade dos resíduos (PEREIRA NETO, 1996).

### **3.3 Cultivo e fertilização do eucalipto**

O eucalipto é cultivado no Brasil desde 1908. Recentemente alcançou 6.664.812 ha, de área cultivada no país (ABRAF, 2013), onde encontraram no clima e no solo brasileiro as condições ideais para produção em escala (QUEIROZ; BARRICHELO, 2007).

O eucalipto possui crescimento rápido e alta produtividade florestal, fatores que contribuem para a expansão e novos investimentos de empresas dos segmentos que utilizam sua madeira como matéria-prima (ABRAF, 2013). A produção do eucalipto normalmente é realizada para atender finalidades industriais, como produção de madeira para serraria, mourões, postes, energia, celulose, aglomerados, laminados e extração de óleos e resinas. O setor florestal, concentrado no cultivo de eucalipto, corresponde com 5% do PIB nacional, sendo US\$ 3 bilhões em impostos e US\$ 16 bilhões em exportações (segundo maior em superávit comercial), oferecendo emprego a mais de 2 milhões de pessoas e remuneração de seus trabalhadores melhor do que atividades similares (Sociedade Brasileira de Silvicultura, 2015).

A necessidade hídrica do eucalipto varia de acordo com fatores ambientais e mudanças nas técnicas de manejo irrigação, fertilidade, solo, manejo entre outras (LOPES, 2016). REIS et al., (2006) verificaram que existe variação no comportamento das espécies de eucalipto em função do espaçamento e níveis de fertilização. A absorção de água pela planta depende de um sistema radicular bem formado e, especialmente, da distribuição das raízes finas no sentido horizontal e vertical.

A grande maioria das áreas de florestamento ocupadas por estas espécies estão sobre solos muito intemperizados e lixiviados, portanto, com baixa disponibilidade de nutrientes (GONÇALVES; PASSOS, 2000).

As espécies florestais apresentam diferenças na capacidade de absorção, translocação, acúmulo e uso dos nutrientes, que influenciam o crescimento das mesmas. Estas diferenças ocorrem entre espécies, procedências, progênies e mesmo entre clones de uma determinada espécie (GODOY; ROSADO, 2011). Além disso, GONÇALVES, (1995) menciona que a adubação varia de acordo com o tipo de solo, forma de reação dos adubos com o solo, eficiência dos adubos e fatores econômicos.

A demanda de nutrientes pela planta depende da sua taxa de crescimento e da eficiência com que ela converte os nutrientes absorvidos em biomassa. Para um mesmo material genético, numa determinada região, há uma relação relativamente estreita entre a taxa de crescimento e acúmulo de nutrientes na biomassa (GONÇALVES et al., 2000).

O fósforo (P) é o principal nutriente que confere caráter distinto às espécies de eucaliptos em relação ao crescimento e à eficiência nutricional (FURTINI NETO, 1994). Para o gênero *Eucalyptus*, há variações nas eficiências de absorção e de utilização de um ou mais nutrientes entre espécies e entre clones de uma mesma espécie (SILVA, 1983; BARROS et al., 1985; MORAIS, 1990; GODOY; ROSADO, 2011). Diferenças na eficiência nutricional entre procedências e híbridos de eucalipto têm sido constatadas, podendo representar um fator importante na economia ou no emprego mais racional de fertilizantes (MOLICA, 1992).

A ciclagem de nutrientes é responsável pela maior parte da demanda de nutrientes da árvore. O fluxo de nutrientes aumenta consideravelmente na fase de fechamento das copas, momento em que a planta começa a perder suas folhas devido às limitações de luminosidade (RAIJ et al., 1997). Ainda de acordo com Raij et al., (1997), parte considerável dos nutrientes deposita-se nas folhas, galhos e outros resíduos vegetais que, quando caem, dão origem à serapilheira sobre a superfície do solo. Esta, ao se decompor, libera nutrientes para as árvores, propiciando a disponibilidade de nutrientes necessários para o desenvolvimento.

Para que seja realizado o manejo nutricional, nos plantios florestais a análise química foliar e do solo são as ferramentas mais utilizadas na recomendação de adubação e no diagnóstico de deficiência de nutrientes (MACEDO et al., 1996; MAGALHÃES; BLUM 1999). Entretanto, a análise das folhas é uma estratégia confiável de avaliação do estado nutricional porque é neste órgão que ocorre a maioria das atividades metabólicas e seu status nutricional e fisiológico pode influenciar o crescimento das plantas (WADT, 2004). A tabela 1 a seguir demonstram os valores nutricionais considerados adequados em folhas de eucalipto.

**Tabela 1:** Faixas de teores de macronutrientes considerados adequados na matéria seca de folhas de *Eucalyptus* (plantas adultas).

Gênero	Faixa de teores adequados na matéria seca das folhas					
	N	P	K	Ca	Mg	S
<i>Eucalyptus</i>	13 – 18	0,9 - 1,3	0,9 - 1,3	6 – 10	3,5 - 5,0	1,5 - 2,0
<b>Gênero</b>	Faixa de teores adequados na matéria seca das folhas					
	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
<i>Eucalyptus</i>	30 – 50	7,0 - 10,0	150 -200	400 - 600	0,5 - 1,0	35 – 50

Fonte: Boletim Técnico, 100, IAC, 1997.

Estudos realizados com o cultivo de eucalipto com o uso de lodo de esgoto revelam a melhora na entrada de matéria orgânica (LIRA et al., 2008). VAZ; GONÇALVES, (2002) também observaram uma igualdade no desenvolvimento de plantas de eucalipto fertilizadas com biossólido e fertilizantes minerais. ROCHA et al., (2004), pesquisando o desenvolvimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* adubado com biossólido, verificaram que os tratamentos com fertilizante orgânico foram superiores ao tratamento com fertilizantes minerais, assim obtendo resultados ainda mais evidentes dos incrementos no desenvolvimento das plantas adubadas com fertilizantes orgânicos.

### 3.4 Monitoramento da condutividade elétrica do solo

Devido à existência da tendência internacional do uso da técnica da Reflectometria no Domínio do Tempo (TDR) para estudos da dinâmica da água e do soluto, sondas de TDR foram instaladas para medir a umidade e a condutividade elétrica do solo durante o cultivo das mudas de eucalipto em casa de vegetação, de forma a monitorar as alterações das propriedades químicas e físicas do solo.

A TDR baseia-se no efeito da umidade do solo sobre a velocidade de propagação de pulsos de micro-ondas em cabos condutores envoltos por solo. Este fenômeno se deve à diferença entre as constantes dielétricas, ( $K$  [adimensional]), da água, do ar e do material sólido do solo. Na matriz do solo as constantes dielétricas variam entre 1 e 81. O ar possui o valor mínimo igual a 1, as partículas sólidas variam entre 3 e 5 e a água possui o valor máximo 81 (Noborio, 2001).

A constante  $K$  medida neste sistema (ar-solo-água) é denominada constante dielétrica aparente ( $K_a$  [adimensional]); assim, conhecendo-se esta variável, pode-se estimar a umidade volumétrica do solo por meio de calibrações obtidas a partir de dados de campo ou de laboratório (CONCIANI et al., 1996). A condutividade elétrica é medida indiretamente através da impedância do solo. As leituras foram convertidas através de curvas de calibração descritas abaixo (BIZARI et al., 2014):

$$\theta = -0,0007K_a^2 + 0,036 * K_a - 0,0403$$

Em que:

$\theta$  – Umidade Volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ );

$K_a$  – Constante dielétrica aparente (adimensional).

$$CE_{Pasta} = 1,1471 * \theta + 1,5191 * CE_{TDR} + 0,041$$

Em que:

$CE_{Pasta}$  – Condutividade elétrica da pasta saturada ( $dS m^{-1}$ );

$CE_{TDR}$  – Condutividade elétrica aparente ( $dS m^{-1}$ );

$\theta$  – Umidade Volumétrica ( $m^3 m^{-3}$ ).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Considerações gerais sobre processo de obtenção do fertilizante orgânico

Neste experimento foi utilizado o fertilizante orgânico classe D, proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto - ETE Jundiaí (ETEJ), Jundiaí-SP, uma concessão pública à iniciativa privada. Ela foi construída e é operada pela Cia. Saneamento de Jundiaí desde 1998. Trata-se de uma estação de tratamento biológico de esgotos sanitários cuja concepção de engenharia é chamada de “lagoas aeradas de mistura completa seguida de lagoas de decantação”.

O lodo de esgoto gerado pela ETEJ é degradado nas lagoas de decantação e desaguado através de descartes centrífugos formando uma torta de lodo com 22 % de sólidos. Atualmente, a ETEJ gera, em média, 90 t dia<sup>-1</sup> de torta de lodo de esgoto e a totalidade deste lodo é tratada pelo processo de compostagem termofílica (Figura 1), em área interna à ETEJ.

O composto orgânico utilizado no experimento foi obtido pela compostagem do lodo de esgoto gerado pela ETEJ, em sistema de Leiras Revolvidas (Sistema “Windrow”), a partir da sua mistura na proporção 1:1 v v<sup>-1</sup>, com podas urbanas trituradas ou bagaço de cana-de-açúcar. A planta de compostagem é operada pela TERA Ambiental Ltda, empresa responsável pelo tratamento do lodo e comercialização do fertilizante orgânico composto obtido após o tratamento.

O revolvimento mecânico foi realizado por máquinas do tipo compostadeira. O tempo de preparo do composto foi de aproximadamente 55 dias, sendo que o pré-composto ficou 25 dias em revolvimento diário e 30 dias empilhado para sua bi-estabilização. Durante todo este período de empilhamento, a temperatura média da massa compostável foi  $\geq$  a 65 °C, garantindo a higienização do produto final.

O composto orgânico, produto registrado no MAPA como fertilizante orgânico composto Classe D, é comercializado para uso em plantações de cana-de-açúcar, citros, café, soja, milho, viveiro de mudas de plantas ornamentais e áreas de parques e jardins. A quantidade média mensal produzida e comercializada de fertilizante orgânico composto é de 2.500 toneladas, resultante do tratamento médio de 5.000 t mensais de resíduos orgânicos.

## PROCESSO DE COMPOSTAGEM TERMOFÍLICA TERA AMBIENTAL



**Figura 1:** Processo de produção do Fertilizante Classe D através da compostagem do lodo de esgoto. Fonte: Tera Ambiental, 2015.

### 4.2 Caracterização química do fertilizante orgânico classe D

A caracterização química do fertilizante classe D utilizado foi realizada no Laboratório de Química e Nutrição dos Solos do Centro de Ciências Agrárias da UFSCar, seguindo os métodos estabelecidos pelo Manual de Métodos de Análise de Solo EMBRAPA (1997) e RAIJ et al. (2001).

Foram coletadas cinco amostras de 10 g de fertilizante orgânico classe D usando luvas descartáveis e sacos de papel e em seguida foram encaminhadas ao Laboratório. Os dados obtidos na caracterização química estão na Tabela 2.

**Tabela 2:** Caracterização química do fertilizante orgânico classe D utilizado em experimento com cultivo de eucalipto.

Parâmetros	Valor
pH	7,4
Matéria orgânica (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de MO)	490
Carbono (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de C)	282
Nitrogênio (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de N)	17
Pentóxido de Fósforo (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	25,4
Oxido de Potássio (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de K <sub>2</sub> O)	15
Óxido de Cálcio (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de CaO)	26,2
Óxido de Magnésio (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de MgO)	5,2
Sulfato (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de SO <sub>4</sub> )	26,2

Umidade (%)	23,64
Cobre (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de Cu)	0,6
Fe (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de Fe)	2,3
Manganês (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de Mn)	0,5
Zinco (g Kg <sup>-1</sup> de Fertilizante de Zn)	1,3
CTC (mmol Kg <sup>-1</sup> de CTC)	240

### 4.3 Análise microbiológica

Foram feitas análises iniciais no composto para verificar a presença de micro-organismos patogênicos no fertilizante classe D por meio da coleta de duas amostras de 10 g, encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia Aplicada (LABMAC/DTAISER/CCA). Foram avaliadas a presença dos micro-organismos coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*).

Foi adotada a metodologia das placas Petrifilm da 3M<sup>1</sup> para coliformes totais e *E. coli*. As amostras para a análise microbiológica foram manipuladas em câmara de fluxo laminar em solução de peptona 0,1 %, sendo posteriormente inoculadas nas placas Petrifilm. Após o período de incubação de 24 e 48 h, procedeu-se a contagem de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente.

### 4.4 Solo utilizado na condução do experimento

Para a condução do experimento foi necessária a utilização de um substrato composto por diferentes porcentagens de fertilizante orgânico classe D, complementado com solo arenoso oriundo de Neossolo Quartzarênico (Areias Quartzosas).

Para posterior definição das doses de fertilização, uma análise química deste solo (Tabela 3) foi realizada no mesmo laboratório e seguindo os mesmos procedimentos descritos no item 4.2 de caracterização do fertilizante orgânico.

O Neossolo Quartzarênico é caracterizado como um solo arenoso com baixo teor de argila e o uso contínuo desse solo pode levar a degradação (Embrapa, 1999). Porém o manejo correto pode elevar o seu potencial produtivo em curto prazo (SPERA et al., 1999). A escolha do solo Neossolo Quartzarênico está associada à sua alta permeabilidade, e baixa retenção de água e nutrientes e à sua necessidade de práticas conservacionistas para manter o solo produtivo. Além disso, este solo apresenta baixa capacidade de troca catiônica (CTC).

<sup>1</sup> Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

O solo arenoso utilizado foi coletado na camada superficial (0-30 cm), em Leme-SP (latitude 22°11'08" sul e longitude 47°23'25" oeste), em local com 619 m acima do nível do mar.

**Tabela 3:** Caracterização química do solo arenoso

Parâmetros	Concentração
Matéria orgânica (mg L <sup>-1</sup> de MO)	40
pH	4,9
Potássio (mg L <sup>-1</sup> de K)	6
Cálcio (mg L <sup>-1</sup> de Ca)	9
Magnésio (mg L <sup>-1</sup> de Mg)	2,54
Hidrogênio + Alumínio (mg L <sup>-1</sup> de H+AL)	1,5
Enxofre (mg L <sup>-1</sup> de S)	28
Boro (mg L <sup>-1</sup> de B)	0,17
Cobre (mg L <sup>-1</sup> de Cu)	0,4
Ferro (mg L <sup>-1</sup> de Fe)	6
Manganês (mg L <sup>-1</sup> de Mn)	1,6
Zinco (mg L <sup>-1</sup> de Zn)	0,3
Fósforo Resina (mg L <sup>-1</sup> de P resina)	3

#### 4.5 Estrutura Experimental

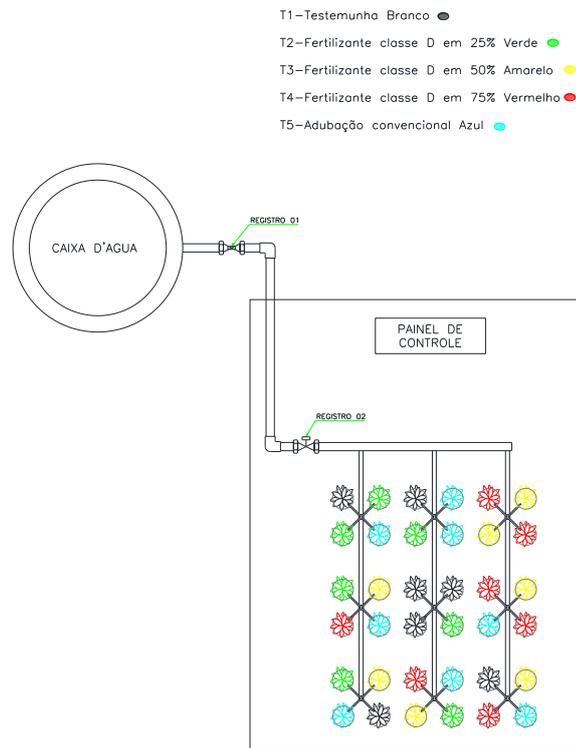
O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do CCA – UFSCar (Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de São Carlos), localizado em Araras-SP (“22° 18’22,4” S; 47° 23’11,1” O), durante o período de 12 de novembro de 2014 a 28 de janeiro de 2015, contabilizado 75 dias. Uma duração maior do experimento iria influenciar nos resultados, devido ao rápido crescimento das plantas e tamanho limitado do vaso (11 L). A casa de vegetação composta utilizada é composta por uma estrutura metálica do tipo teto em arco, com pé-direito de 3 m, comprimento de 18 m e 6,4 m de largura, com laterais fechadas por tela do tipo sombrite.

O clima da região é caracterizado por duas estações bem definidas, sendo uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março, e enquadra-se no tipo “Cwa” de Köppen (SETZER, 1967), com uma precipitação média anual de 1300 mm a 1700 mm. Devido à necessidade hídrica do experimento e as condições da condução em ambiente fechado, foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento, alimentado por um reservatório.

Mudas de eucalipto do híbrido urograndis (*Eucalyptus urophylla* x *E. urograndis*), clone H13, foram obtidas no Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, Piracicaba – SP. A escolha do eucalipto foi baseada na sua resposta rápida ao uso de fertilizantes e, também, pelo fato de serem mudas clonadas, o que elimina a variabilidade genética como fonte de alteração nos resultados.

As mudas foram transplantadas para vasos com dimensões de 0,24 m de diâmetro e 0,18 m de altura, com um volume de 11 L (Figura 2). Para a preparação dos vasos, inicialmente foi acrescentado 1,5 kg de pedra tipo brita, em seguida um tecido geotêxtil (cuja finalidade foi de evitar a perda de solo pela drenagem) e, por fim, 8 kg de TFSA (terra fina seca ao ar) passada em peneira de 2 mm, até atingir 2 cm da borda. Os vasos possuíam drenos na lateral inferior para retirar o excesso de água do solo. Entretanto, os tratamentos com fertilizante orgânico classe D foram fracionados em função da porcentagem do material em relação ao volume total do vaso.

O experimento foi composto por cinco tratamentos com sete repetições, totalizando 35 vasos, dispostos num delineamento inteiramente ao acaso. Os cinco tratamentos foram constituídos por: uma testemunha composta apenas por solo arenoso (T1), três tratamentos com 25 % (T2), 50 % (T3) e 75 % (T4) de fertilizante orgânico classe D e um tratamento com adubação convencional (T5), todos em solo arenoso e suas respectivas dosagens (Figura 3). As porcentagens foram fracionadas em 25 % pela falta de fontes científicas para a recomendação da dosagem ideal para a cultura do eucalipto, desta forma, também foi fonte de pesquisa a dosagem de melhor resposta.



**Figura 2:** Distribuição ao acaso dos tratamentos avaliados dentro da casa de vegetação.



**Figura 3:** Imagem da disposição dos vasos na casa de vegetação.

A adubação convencional (T5) foi definida com base na análise do solo arenoso (Tabela 2), seguindo as recomendações de fertilização do IPEF (Tabela 4) (GONÇALVES, 2005). A partir disso foi possível quantificar os nutrientes necessários para o

desenvolvimento da cultura. Porém, uma adaptação teve que ser realizada, pois a recomendação é dada pela área. Desta forma, foi necessário dividir a quantidade de fertilizante demandado por hectare, pelo número de plantas por hectare (1.667 plantas, espaçamento 3x2 m).

Com isso, foi possível mensurar que para o solo arenoso, era necessário que se fornecesse 36 g de N, 24 g de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 30 g de K<sub>2</sub>O por vaso, que foram fornecidos através de 48 g de Mono-Amônio-Fosfato (50 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 10% de N), 68 g de Nitrato de Potássio (44 % de K<sub>2</sub>O e 13 % de N) e 163 g de Nitrato de Cálcio (15 % de N) por vaso. Os fertilizantes foram aplicados, em cova, no momento do transplante, sendo a única adubação realizada no cultivo.

O sistema de irrigação foi instalado com uma vazão de 1 L h<sup>-1</sup> por vaso, o qual era acionado quatro vezes ao dia, com duração de 10 minutos por vez, aproximadamente com uma lâmina de água de 3,7 mm dia<sup>-1</sup> (Figura 2 e 3).

#### 4.6 Análises do crescimento de eucalipto

Para alcançar o objetivo de avaliar o crescimento das plantas ao longo do tempo experimental, avaliou-se periodicamente à altura das plantas e, ao final do experimento, a matéria seca da parte aérea e do sistema radicular. Além disso, foi mensurada a taxa de crescimento relativo (TCR), do seguinte modo (BENINCASA, 2003):

$$TCR \left( \frac{gg^{-1}}{dias} \right) = \frac{(M2 - M1)}{(P2 - P1)}$$

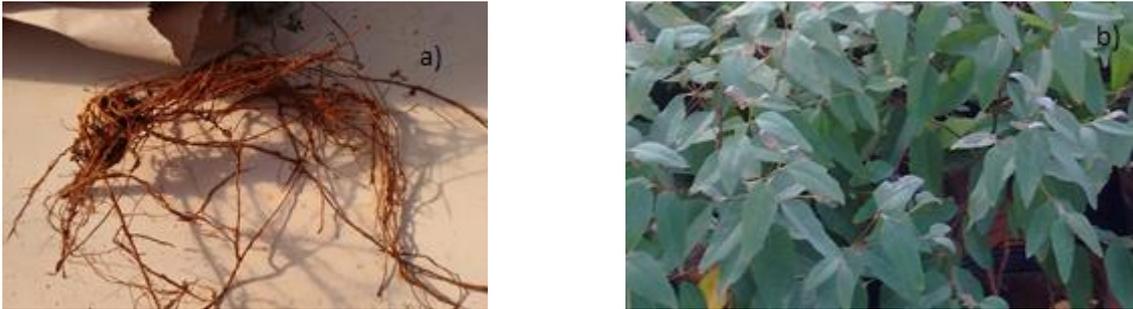
em que:

M1 - massa seca total inicial;

M2 - massa seca total final;

(P2-P1) - intervalo de tempo entre o plantio do experimento, em dias.

A altura das plantas foi avaliada em intervalos de 15 dias (15, 30, 60 e 75 dias), utilizando uma trena para realizar as medições. Para as medidas de TCR, foram avaliadas, no início do experimento, no momento do plantio P1, 10 mudas de eucalipto não utilizadas. Para a análise da matéria seca destas plantas e no final do ensaio (Figura 4), coletaram-se todas as plantas, que foram secas em estufa a 60 °C durante 48 h.



**Figura 4:** Material retirado para quantificação da massa seca final P2: a) Raízes b) Folhas.

#### 4.7 Análise química do tecido vegetal foliar

Folhas recém-maduras, normalmente o penúltimo ou antepenúltimo lançamento de folhas, foram coletadas com 75 dias de cultivo para a análise química de tecido vegetal conforme a metodologia de coleta descrita no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). Foram coletadas 10 folhas por planta. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo e Planta. O material foi processado e foram analisados os elementos N, P, K, Ca, Mg, S, B, Fe, Zn, Mn e Cu, seguindo a metodologia EMBRAPA, (1997).

#### 4.8 Análise do monitoramento elétrico

O monitoramento foi feito quinzenalmente com o propósito de observar as variações de umidade e condutividade elétrica do solo, para o qual quatro vasos de cada tratamento receberam sondas de TDR, altura de 15 cm (Figura 5) e suas médias foram utilizados para as análises finais.



**Figura 5:** Sondas de TDR utilizadas para o monitoramento da umidade e condutividade elétrica do solo.

O uso do fertilizante orgânico classe D em solo arenoso tem propiciado a elevação dos teores de pH, da condutividade elétrica e capacidade de troca de cátions (CTC) (NASCIMENTO et al., 2004). Devido a isto, optou-se por observar como se dá esta influência através da avaliação da condutividade elétrica.

#### **4.9 Análise estatística dos dados**

Os dados de desenvolvimento das plantas ao longo do cultivo foram submetidos à análise de variância utilizando o programa Assistat 7.6 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009). Quando a ANOVA foi significativa, os resultados foram comparados entre si usando o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Análise Microbiológica**

Os coliformes termotolerantes (*Escherichia coli*) foram ausentes no fertilizante orgânico e, para coliformes totais  $>10^3$  UFC/g, incontável. Portanto, de acordo com as análises, o processo de compostagem provavelmente permitiu a inativação de coliformes termotolerantes presentes no lodo. O mesmo resultado pode ser observado por ROCHA et al., (2013), que obteve resultados negativo para a presença de coliformes termotolerantes, quando avaliou o uso de composto de lodo de esgoto como componente de substrato para produção de mudas clonais eucalipto.

### **5.2 Altura das plantas**

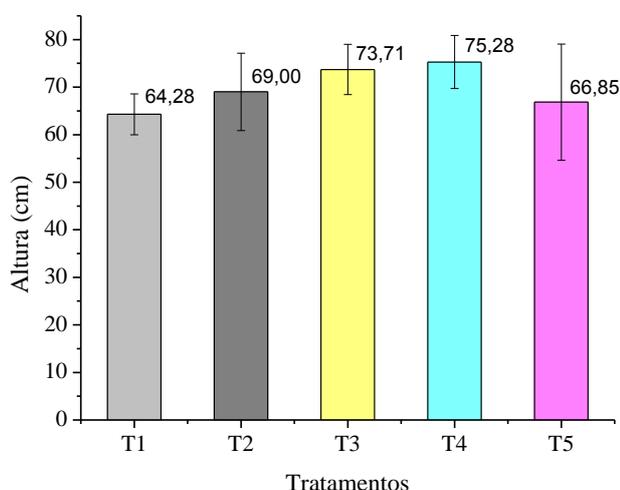
Os resultados médios de crescimentos das árvores, expressos pela altura, não mostraram diferenças estatísticas significativas em função das diferentes dosagens de composto de lodo de esgoto testadas (Tabela 4, Figura 6).

As plantas não diferiram em altura, em função do tratamento, pois a altura não é uma boa variável para expressar o desenvolvimento das plantas nestas condições. Resultados semelhantes foram obtidos por CAMPOS; ALVES (2008), ao analisarem o crescimento do eucalipto com o uso de biossólido. Os autores observaram que o cultivo não apresentou desenvolvimento na altura

**Tabela 4:** Análise de variância da altura final das plantas de eucalipto de cada tratamento (cm planta<sup>-1</sup>) ao final do período em casa de vegetação.

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	595,83	148,95	2,54 ns
Resíduo	30	1759,14	58,63	
<b>Total</b>	<b>34</b>	<b>116965,7</b>		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
 GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.



**Figura 6:** Resultados médios da altura (cm) ao 75 dias de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Tratamentos não diferem entre si (ANOVA,  $p > 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25 % de fertilizante orgânico; T3: 50 % de fertilizante orgânico; T4: 75 % de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.

### 5.2.1 Análise da Taxa do Crescimento Relativo e massa seca

A TCR não diferiu quando comparados os tratamentos com o fertilizante orgânico classe D e o fertilizante convencional, porém, a testemunha, sem fertilização, apresentou uma menor TCR (Tabela 5, Figura 7).

No entanto, a massa seca apresentou diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 6). Plantas do T3 (50% de fertilizante orgânico) acumularam mais massa seca que plantas dos demais tratamentos com fertilização, os quais foram superiores à testemunha (Figura 8). Estes resultados são similares aos observados por GARCIA et al., (2010), que também verificaram um incremento de massa seca e TCR cultivando eucalipto em ambiente protegido, porém, utilizando lodo de esgoto como fertilizante.

O incremento na massa seca com a fertilização orgânica se deve a um aumento de nutrientes no solo seguido de um efeito de melhoria da estrutura que a matéria orgânica promove (ANDREOLI et al., 2001). Esse efeito causa um aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, em função das cargas negativas da matéria orgânica, ampliando o “reservatório nutricional” do solo. Outro benefício é o aumento da taxa de micro porosidade do solo, aumentando a retenção de água no mesmo.

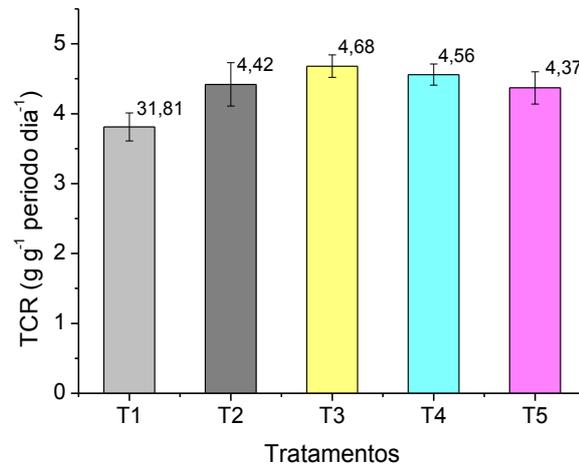
Além disso, a matéria orgânica introduz no sistema uma gama de micronutrientes, que geralmente não é fornecida através da fertilização mineral concentrada em NPK. VAZ e GONÇALVES (2002) também observaram uma igualdade no desenvolvimento de plantas de eucalipto fertilizadas com biofósforo e fertilizantes minerais.

ROCHA et al. (2004), pesquisando as alterações de fertilidade no solo e desenvolvimento de um povoamento de *Eucalyptus grandis* adubado com biofósforo, verificaram que os tratamentos com fertilizante orgânico foram superiores ao tratamento com fertilizantes minerais, assim obtendo resultados ainda mais evidentes dos incrementos no desenvolvimento das plantas adubadas com fertilizantes orgânicos. Durante o experimento pode ser observado que o incremento maior com a fertilização orgânica pode ser devido à natureza do experimento, pois este foi executado fora de ambiente protegido, com fornecimento regular de água. Isso fez com que os efeitos positivos do fertilizante fossem ainda mais aparentes, pois fora de um ambiente controlado se tem uma menor conservação de água e nutrientes no solo. Isto faz com que as propriedades que o fertilizante confere ao solo tenham um benefício ainda maior no incremento de biomassa.

**Tabela 5:** Análise de variância da taxa de crescimento relativo ao final do período em casa de vegetação das plantas de eucalipto de cada tratamento ( $g\ g^{-1}\ p$ ).

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	3,16	0,79	16,11**
Resíduo	30	1,47	0,05	
Total	34	4,63		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

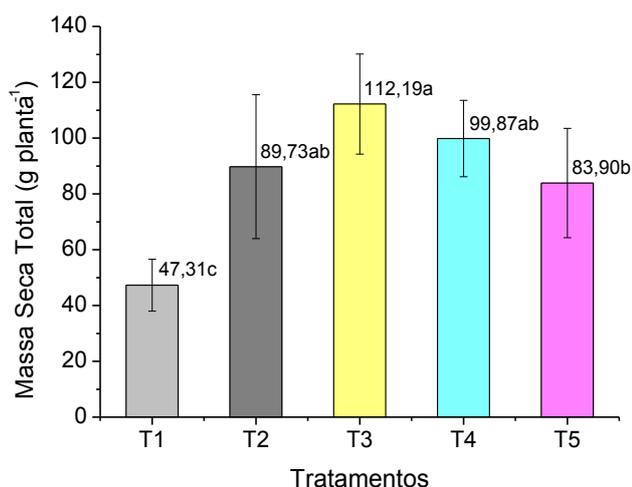


**Figura 7:** Resultados médios da Taxa de Crescimento Relativo ( $\text{g g}^{-1}$  período/dia), após 75 dias de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Barras com letras diferentes diferem entre si (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.

**Tabela 6:** Análise de variância da matéria seca total das plantas de eucalipto de cada tratamento ( $\text{g planta}^{-1}$ ) ao final do período em casa de vegetação.

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	4	16745,21	4186,3	12,72**
Resíduo	30	9869,04	328,96	
Total	34	26614,25		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.



**Figura 8:** Resultados médios da Massa Seca Total (g planta<sup>-1</sup>), mais o desvio padrão após 75 de cultivo em casa de vegetação, para mudas de eucalipto submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Barras com letras diferentes diferem entre si (teste de Tukey,  $p < 0,05$ ). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.

### 5.2.2 Análise química do tecido foliar

Quando comparados aos valores de referência de macro e micronutrientes na matéria seca de folhas de eucalipto (RAIJ et al., 1997), o teor médio de nitrogênio para o tratamento testemunha está abaixo do valor mínimo tolerado, enquanto que para os demais tratamentos, está acima (Figura 9).

Para o valor médio de fósforo, novamente apenas as plantas do tratamento testemunha apresentaram teor abaixo da faixa ideal. Os demais tratamentos ficaram na faixa estabelecida por RAIJ et al (1997), fato este que esta relacionada ao teor de argila presente na matéria orgânica do fertilizante orgânico classe D, como pode ser observado por NOVAIS et al., (2007).

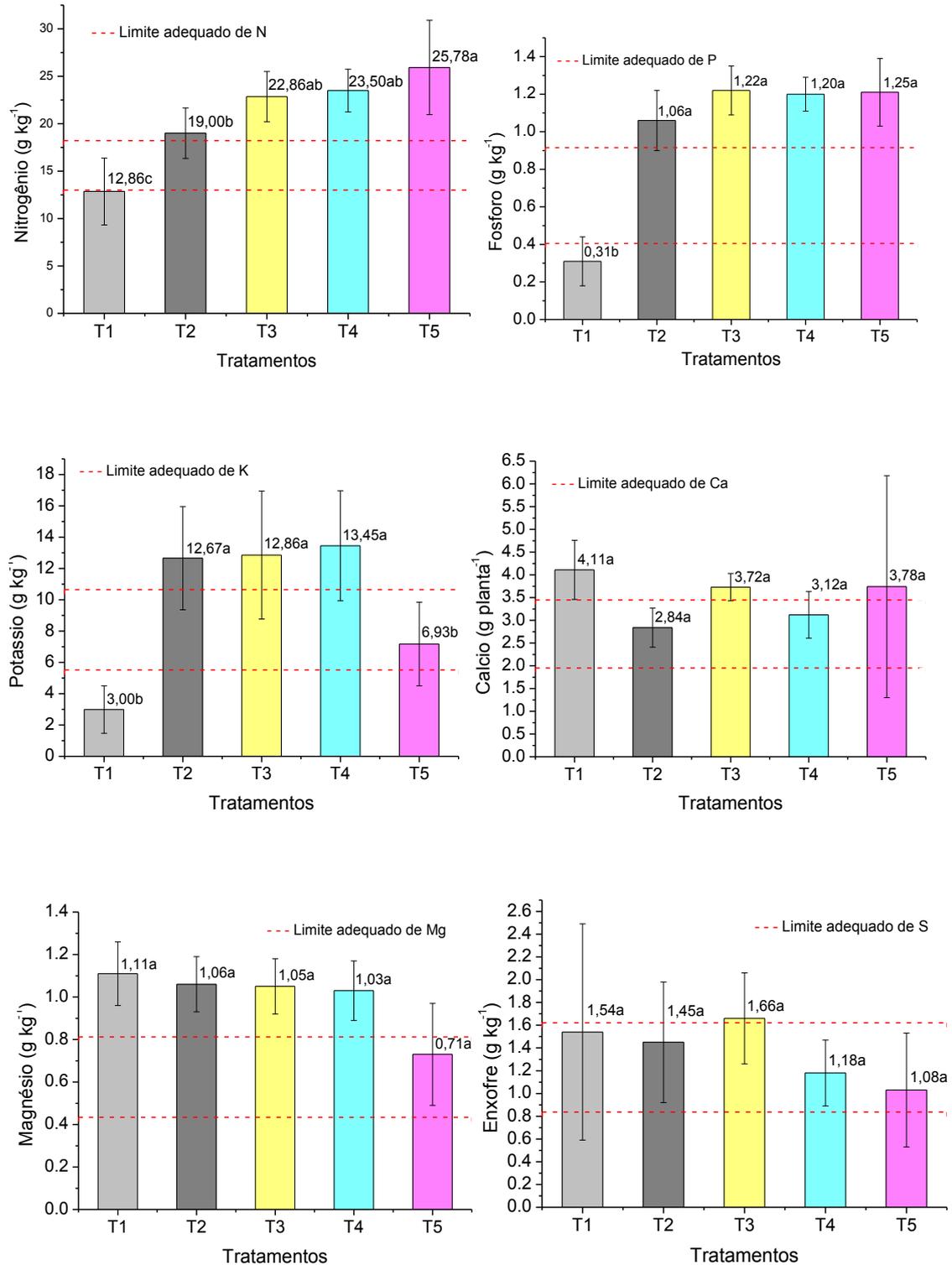
O teor de potássio apresentou teores foliares abaixo do estabelecido por RAIJ et al., (1997) para as plantas do tratamento testemunha e da fertilização mineral. Assim, a análise foliar apontou deficiência deste nutriente nestes tratamentos, fato este que pode ser observado devido à baixa retenção de nutrientes no solo arenoso. Possivelmente, no tratamento composto por fertilizante convencional, a diminuição do aporte nutricional se deve a perda do potássio por processo de lixiviação, resultando em uma resposta nutricional nas folhas semelhante às observadas no T1 (testemunha).

Assim, os resultados referentes aos teores de NPK na folha corroboram com o observado para o crescimento das plantas, apontando que o fertilizante orgânico classe D disponibiliza de forma equilibrada os nutrientes a partir do condicionador que o solo recebeu com o aporte de matéria orgânica beneficiando as propriedades físicas e químicas do meio.

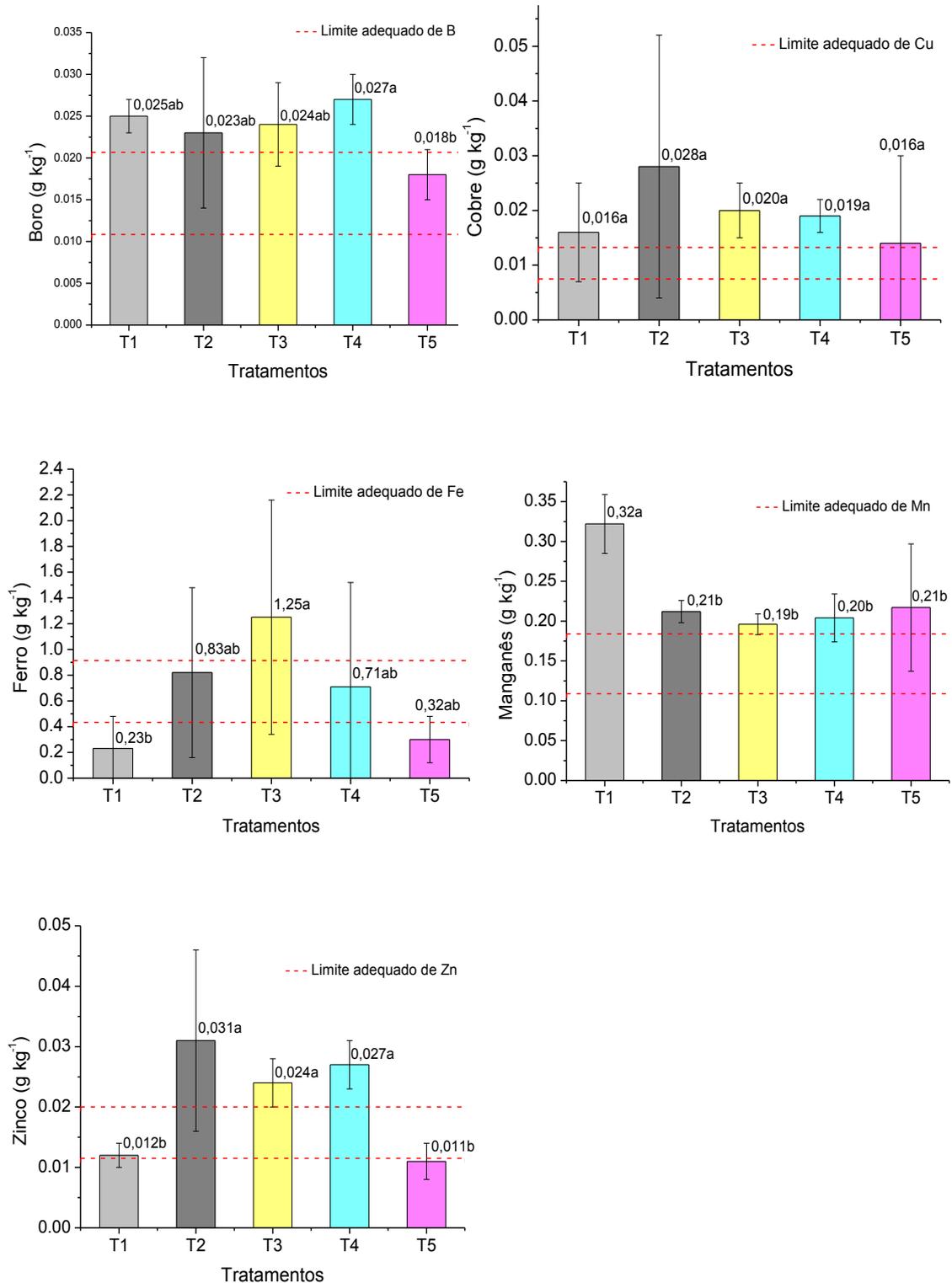
Além disso, nos tratamentos testemunha e com 50% de adição de fertilizante orgânico, os valores médios para o enxofre ficaram na faixa estabelecida por RAIJ et al., (1997), porém, todos os demais tratamentos tiveram valores abaixo da faixa ideal. Foi possível observar, através dos resultados da análise foliar, um acúmulo acima da faixa ideal dos teores de cobre e ferro em todos os tratamentos.

Os teores de cálcio, magnésio, boro, manganês e zinco ficaram abaixo da faixa ideal para todos os tratamentos. Este último resultado pode ser explicado pelo fato dos valores de referências utilizados são sugeridos para plantas adultas, as quais terão um intervalo de tempo maior para absorção nutricional comparados com plantas jovens.

Deve-se considerar que o momento da coleta interfere diretamente nos teores de nutrientes presentes nas folhas. Como o experimento foi breve e realizado em situações controladas e os parâmetros propostos são para situação de cultivo a campo, pode ser que haja distorções nos valores. Isso pode ter ocorrido devido ao fato de não se ter uma relação clara da ação do fertilizante com o tipo de solo ou algum nutriente. Assim, não se verificou um padrão entre a fertilização e as quantidades de nutrientes encontradas nas folhas.



**Figura 9:** Teores médios de macronutrientes nas folhas de eucalipto cultivado em casa de vegetação, sob diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Faixa em vermelho: teores adequados para o eucalipto (RAIJ et al. 1997). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25 % de fertilizante orgânico; T3: 50 % de fertilizante orgânico; T4: 75 % de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.



**Figura 9:** Teores médios de micronutrientes nas folhas de eucalipto cultivado em casa de vegetação, sob diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto). Faixa em vermelho: teores adequados para o eucalipto (RAIJ et al. 1997). T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.

### 5.2.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) aumentou à medida que se aumentou a porcentagem de fertilizante orgânico Classe D no substrato (Figura 11), o que é justificado pela presença da carga de sais no composto. Um dos fatores que contribuíram para maiores quantidades de sais nesse tratamento é a retenção de água que este material apresenta, mostrando inclusive menor drenagem quando em período inicial de produção, quando apresentou líquens e musgos sobre o solo no vaso. O solo, por ser arenoso apresenta uma maior taxa de lixiviação.

O T1, por não conter nenhum fertilizante, somente solo arenoso, apresentou o menor índice de condutividade elétrica, pois os sais foram lixiviados durante o processo de irrigação. Os T2 e T3, por possuírem doses intermediárias do fertilizante orgânico classe D, rico em matéria orgânica, apresentaram índice elevado de condutividade elétrica (CE) no início do experimento, que foi sendo reduzida ao longo dos dias, pela lixiviação no processo de irrigação. Os T4 e T5 apresentavam maior quantidade de sais no início do cultivo em relação aos demais tratamentos, por serem tratamentos ricos em fertilizantes e matéria orgânica, e, ao passar dos dias pode ser observado que apresentaram queda na quantidade de sais, mas mantiveram-se com valores superiores aos demais tratamentos.

A condutividade elétrica (CE) do cultivo de eucalipto ao longo do tempo reduziu em todos os tratamentos devido ao consumo das plantas e, também, a lixiviação a cada irrigação. Os sais são acondicionados na zona radicular do solo. No processo de irrigação, à medida que as culturas consomem a água, por evapotranspiração (ETc), a água armazenada diminui a quantidade de sais no solo. (AYERS; WESTCOT, 1999).

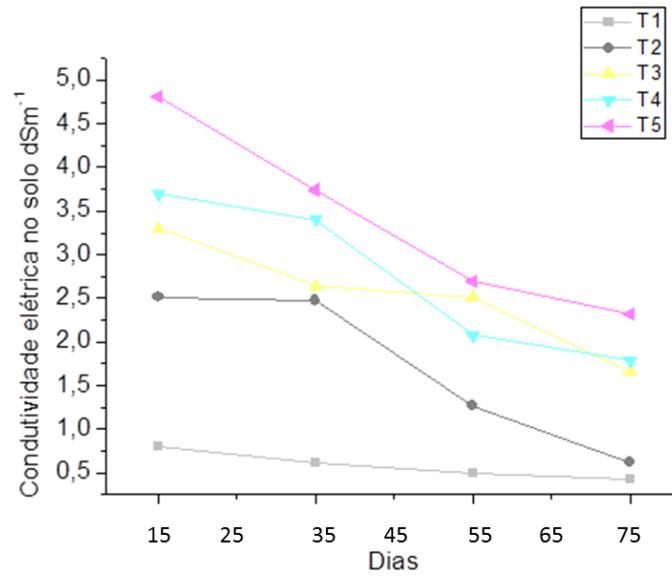


Figura 10. Condutividade elétrica média no substrato dos diferentes tratamentos durante o período de cultivo de eucalipto em casa de vegetação. T1: testemunha em solo arenoso, T2: 25% de fertilizante orgânico; T3: 50% de fertilizante orgânico; T4: 75% de fertilizante orgânico; T5: adubação mineral convencional.

## 6. CONCLUSÃO

Com os resultados deste trabalho é possível concluir que, nas condições experimentais, a aplicação de fertilizante orgânico classe D promoveu desenvolvimento satisfatório das plantas de eucalipto, não havendo prejuízo em termos de acúmulo de matéria seca, taxa de crescimento ou acúmulo de nutrientes nas folhas.

A taxa de crescimento relativo (TCR) não apresentou diferença significativa nos cultivos com fertilizante orgânico classe D e convencional (adubação mineral), revelando que o uso do fertilizante orgânico classe D e convencional apresentam as mesmas características semelhantes para o desenvolvimento das plantas de eucalipto. Já a matéria seca das plantas foi maior com a adição de 50% de fertilizante orgânico no solo de cultivo do que com a fertilização mineral. Portanto, o fertilizante orgânico classe D a base de lodo de esgoto composto poderia ser utilizado em substituição ao fertilizante mineral, no cultivo do eucalipto.

A condutividade elétrica foi incrementada à medida que se aumentou a porcentagem de fertilizante orgânico Classe D no substrato, o que é justificado pela presença da carga de sais no composto, entretanto, não promoveu salinidade às plantas. Neste quesito, a melhor dose observada foi a de 50% de fertilizante orgânico classe D, na qual a condutividade elétrica (CE) foi semelhante ao cultivo com fertilizante convencional, demonstrando que a melhor dose recomendada é a de 50% de fertilizante orgânico.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABRAF. 2013. Anuário Estatístico da ABRAF 2013: ano base 2012. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Brasília, 2013.p. 146.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. – Anuário Estatístico 2015.

BARROS, N.F. et al. Biomassa, absorção e eficiência de utilização de nutrientes por clones de eucalipto na região norte do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 20., Campinas, 1985. Programa e resumos. Campinas: SBCS, 1985. p.109

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas** (noções básicas). Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42p.

BONINI, C.S.B et al. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v.19, n.4, p.388-393, Apr. 2015

BONINI, C.S.B.; ALVES, M.C. Estabilidade de agregados de um latossolo vermelho degradado em recuperação com adubos verdes, calcário e gesso. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v.35, n.4, p.1263-1270, 2011 Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832011000400019&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832011000400019&lng=en&nrm=iso)>. Acessado em 11 Jan 2016.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução N° 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providencias. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 de agosto de 2006. Seção 1, p.141 – 146.

BRASIL. Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providencias. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 de agosto de 2010, p.2.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa N° 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 28 de julho de 2009. Seção 1, p.20.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa 27, de 05 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculadores e biofertilizantes, para serem produzidos importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I,II,III,IV e V desta Instrução Normativa no que se refere as concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patógenos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 09 de junho de 2006. Seção 1, p.15.

BUDZIAK et al. Transformações químicas da matéria orgânica durante a compostagem de resíduos da indústria madeireira. **Rev. Quim. Nova**, v.27, n.3, p.399-403, 2004.

CASTRO, G.F.A.L et al. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Rev. Multi-Science Journal, Goiania**, v.1, n.2, p.66-73,2015.

CUNHA A.M et al. Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *acacia sp.* 1. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.30, n.2, p.207-214, 2006.

DORES-SILVA, P.R et al. Acompanhamento químico da vermicompostagem de lodo de esgoto doméstico. **Rev. Química Nova**, São Paulo, v.34, n.6, p.956 – 981, 2011.

FRANCO, A.J.C.H.A, et al. Sewage sludge as nitrogen and phosphorus source for cane-plant and first ratoon crops. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Viçosa, v.34, n.2, 2010.

FURTINI NETO, A.E. Eficiência nutricional, cinética de absorção e frações fosfatadas em *Eucalyptus spp.* 1994. 99 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.

GARCIA G. O. G. I.V. et al. Crescimento de mudas de eucalipto submetidas à aplicação de biossólidos. **Rev. Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.41, n.1, p.87-94, 2010

GODOY, L.C. et al. A logística na destinação do lodo de esgoto. **Rev. Científica Tecnologia, Gestão e Humanismo**. Guaratinguetá, v.2, n.1, p.79 – 80 , 2013.

GODOY, T.G.; ROSADO, S.C.S. Efficiency of phosphorus use in young plants of *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. *Cerne*, Lavras, v.17, n.3, p.303-308, 2011.

GOMES, J.M.; PAIVA, H.N.; COUTO, L. Produção de mudas de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.18, n.185, p.15-22, 1996.

GONÇALVES, M.R.; PASSOS, C.A.M. Crescimento de cinco espécies de eucalipto submetidas a déficit hídrico em dois níveis de fósforo. **Rev. Ciência Florestal**, v.10, n.2, p.145-161, 2000.

GONÇALVES, J.L.M. Recomendações de Adubação para *Eucalyptus*, *Pinus* e Espécies Nativas. Documentos Florestais, 2005.

GUEDES, M.C. et al. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, v.30, n.2, p.267-280, 2006.

INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

IPEF *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden. Disponível em <<http://www.ipef.br/identificacao/eucal.Eucalyptus/#grandis>> Acessado em: 19 agosto 2014

JUNIOR. C.F.C, SOUZA R.A, MARTINS E.R, SAMPAIO R.A. Capacidade de Recuperação de Área Degradada pelo *Gonçalo Alves* (*Astronium fraxinifolium* Schott) sob Adubação com Lodo de Esgoto e Silicato. Nota científica. **Rev. Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v.5, supl. 1, p.480-482, 2007.

KIEHL, E.J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem, maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Ed. do Autor, 1998. 171p.

LIRA, A.C.S. et al. Reciclagem de lodo de esgoto em plantação de eucalipto: carbono e nitrogênio. **Rev. Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro , v.13, n.2, p.207-216, 2008. Acesso em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-41522008000200011&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522008000200011&lng=en&nrm=iso)>. Data do acesso 13 março 2016.

LOBO, T.F. et al. Crescimento e fixação biológica do nitrogênio em soja cultivada com doses de lodo de esgoto compostado. **Rev. Ciências Agrárias**, Londrina, v.33, n.4, p.1333-1342, 2012.

LOPES, J.C.; RIBEIRO, L.G.; ARAÚJO, M.G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.143-147, 2005.

LOPES, J.L.W. Qualidade de mudas clonais do híbrido de *Eucalyptus grandis* vs. *Eucalyptus urophylla*, submetidas a diferentes regimes hídricos. 2008.,171 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/103408>> Acessado em 15 maio 2016.

MACEDO, R.L.G.; SOARES, R.V.; Soares, A.R. “Status” nutricional de *Eucalyptus* (na fase juvenil) introduzidos na baixada cuiabana, MT. **Cerne**, v.2 n.2, p.110 – 123. 1996.

MAFIA, R.G. et al. Critério técnico para determinação da idade ótima de mudas de eucalipto para plantio **Rev. Árvore**, Viçosa, v.29, n.6, p.947-953, 2005.

MAGALHÃES, L.M.S.; BLUM, W.E.H. Concentração e distribuição de nutrientes nas folhas de espécies florestais, na Amazônia Ocidental. **Rev. Floresta e Ambiente** v.6, n.1, p.127-137, 1999.

MATOS, G.S.B. et al. Desenvolvimento inicial e estado nutricional de clones de eucalipto no nordeste do Pará. **Acta Amaz.**, Manaus, v.42, n.4, p.491-500, 2012 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S004459672012000400006&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S004459672012000400006&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em 11 Jan 2016.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. Lei 12.305. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei 9.605, de 12 fevereiro de 1998 e dá outras providências. Data da legislação 02/08/2010 – Publicação DOU, de 03/08/2010.

MOLICA, S.G. Produção de biomassa e eficiência nutricional de híbridos interespecíficos de eucalipto, em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. 1992. 84 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1992.

MORAIS, E.J. et al. Biomassa e eficiência nutricional de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, n.3, p.353- 362, 1990

NASCIMENTO, C.W.A. et al. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Rev. Brasileira de Ciência de Solo** v.28, n.2. p385-392, Fev 2004.

NOVAIS, R.F, et al. Fertilidade do Solo. Edição 2<sup>a</sup>. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS), 2007 p.1017.

PEDROZA, M.M. et al. Produção e Tratamento de Lodo de Esgoto – Uma Revisão, Liberato, **Rev. Liberato** v.11 n.16, p.89 – XX, 2010.

PEREIRA NETO, J.T. Manual de compostagem. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

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, Inglaterra. p.839-845, 1987

PEREIRA. D.C, et al. Adubação orgânica e algumas aplicações agrícolas. **Rev. Varia scientia agrárias**, v.3, n.2, p.159 – 174, 2013.

QUEIROZ, L.R. S.; BARRICHELO, L.E.G.O eucalipto – Um século no Brasil. 1<sup>a</sup> ed. Neoband Soluções Gráficas, São Paulo, 2007. 127p.

QUINTANA.N.R.G et al. Lodo de esgoto como fertilizante: produtividade agrícola e rentabilidade econômica. **Rev. Nucleus**, v.8, n.1, abr.2011

RAIJ, B. van; CANTARELLA, J.A.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. Boletim Técnico n. 100.

REBOLLIDO, R.; et al. Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.6, p.61-67, 2008.

REIS, G.G. et al. Crescimento de raízes e da parte aérea de clones de híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e de *Eucalyptus camaldulensis* x *Eucalyptus spp* submetidos a dois regimes de irrigação no campo. **Rev. Árvore**, Viçosa, v.30, n.6, p.921-931, 2006.

RESOLUÇÃO No 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005 Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.

ROCHA, G. N. et al. Mudanças da fertilidade do solo e crescimento de um povoamento de Eucalyptus “grandis” fertilizado com biossólido. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 04, p. 623-639, 2004.

ROCHA, J. H. T. et al . Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.33 n.73, p.27-35, 2013.

SAMPAIO, T.F. Crescimento de espécies nativas da mata atlântica, modificações de atributos físicos do solo e de metais pesados no solo e na planta, em resposta a aplicação de lodo de esgoto. Dissertação (mestrado em ciência florestal) – UNESP- BOTUCATU, SP, 84p. 2010

SAMPAIO, T.F. et al. Lodo de esgoto na recuperação de áreas degradadas: efeito nas características físicas do solo. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, n.5, p.1637-1645, 2012 .

SANTOS, Fernando E.V. et al . Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Rev. bras. eng. agríc. ambient.**, Campina Grande , v.18, n.9, p.971-979, 2014

SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. Comissão interestadual. da Bacia Paraná- Uruguai, São Paulo, 1967

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Principal Components Analysis in the Software Assistant-Statistical. Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA,H. D. et al Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de Eucalyptus plantadas em solos de baixa fertilidade. *Boletim de Pesquisa Florestal*, n.6, v.7, p.9-25, 1983.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO: DIAGNÓSTICO DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E ESGOTOS – 2014. BRASÍLIA: SNSA/MCIDADES, 2016. 212 P..

SOARES, M.R. Coeficiente de distribuição (kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo. 2004. 202p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo: 2004.

SOARES, S.R.A et al., Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. *Rev. Cad. Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v.18 n.6 p.1713-1724, 2002

SOCOL, V.T.; PAULINO, R.C.; CASTRO, E.A.; TRACZ, J. Eficácia dos diferentes processos de tratamento do lodo na redução da viabilidade de ovos de helmintos. *Rev. Sanare*, Curitiba, v.8, n.8, p.24-32, 1997.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SIVICULTURA (SBS) Fatos e números do Brasil Florestal, 2008.

SOUZA, Z.M. et al. Estabilidade de agregados e resistência à penetração em Latossolos adubados por cinco anos com biossólido. **Rev. Bras. Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, n.1, p.117-123, 2005 .

SPERA, S.T.; REATTO, A.; MARTINS, E.S.; CORREIA, J.R.; CUNHA, T.J.F. Solos arenos-quartzosos no Cerrado: problemas, características e limitações ao uso. Planaltina: EMBRAPA CPAC, 1999. 48p. (EMBAPA CPAC, documentos, 7).

TERA AMBIENTAL. Fertilizante organico composto classe D Disponível em <<http://www.teraambiental.com.br/tratamento-biologico-de-efluentes-industriais-e-comerciais>> Acessado em 10 maio 2014.

VAZ, L.M.S; GONÇALVES, J.L.M. Uso de biossólidos em povoamento de eucalipto: efeito em atributos químicos do solo, no crescimento e na absorção de nutrientes. **Rev. Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.23, p.747 – 758. 2002.

WADT, P.G.S. Nutritional status of Eucalyptus grandis clones evaluated by critical level and DRIS methods. **Rev. Árvore**, Viçosa v.28, n.1, p.15-20, 2004.

WARD, A.L.; KACHANOSKI, R.G.; ELRICK, D.E. Analysis of water and solute transport away from a point source. *Soil Science*, v.59, p.699-706, 1995.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A- Análise de variância do acúmulo de nitrogênio das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	718,95	179,73	14,89**
Resíduo	30	362,14	12,07	
Total	34	1081,10		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE B- Análise de variância do acúmulo de fósforo das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	4,45	1,11	55,17**
Resíduo	30	0,60	0,02	
Total	34	5,05		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE C- Análise de variância do acúmulo de potássio das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	597,78	149,44	14,88**
Resíduo	30	301,10	10,03	
Total	34	898,88		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE D- Análise de variância do acúmulo de cálcio das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	7,54	1,88	1,18ns
Resíduo	30	47,74	1,59	
Total	34	55,29		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE E- Análise de variância do acúmulo de magnésio das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	0,71	0,17	5,93**
Resíduo	30	0,89	0,02	
Total	34	1,60		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE F- Análise de variância do acúmulo de enxofre das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	1,65	0,41	1,18ns
Resíduo	30	10,41	0,34	
Total	34	12,06		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE G- Análise de variância do acúmulo de boro das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	0,00033	0,00008	2,36ns
Resíduo	30	0,00105	0,00003	
Total	34	0,00138		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE H- Análise de variância do acúmulo de cobre das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	0,00069	0,00017	0,83ns
Resíduo	30	0,00620	0,00021	
Total	34	0,00689		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE I- Análise de variância do acúmulo de ferro das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	4,73	1,18	2,87*
Resíduo	30	12,35	0,41	
Total	34	17,08		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE J- Análise de variância do acúmulo de manganês das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	0,076	0,019	8,7**
Resíduo	30	0,065	0,002	
Total	34	0,141		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

**APÊNDICE L- Análise de variância do acúmulo de zinco das amostras da parte aérea das plantas de *Eucalyptus urograndis*, ao final do período de cultivo em casa de vegetação, submetidas a diferentes doses de fertilizante orgânico classe D (lodo composto)**

<b>Causas de Variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>
Tratamentos	4	0,0023	0,00057	9,06**
Resíduo	30	0,0019	0,00006	
Total	34	0,0042		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p > 0,01$ ); ns: não significativo ( $p \geq 0,05$ )  
GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.