

LAURA OLIVEIRA CLETO DA SILVA

**COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO, ASSOCIADO A FREQUÊNCIA DE
IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO, PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
Peltophorum dubium (Sprengel) Taubert**

Botucatu

2018

LAURA OLIVEIRA CLETO DA SILVA

**COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO, ASSOCIADO A FREQUÊNCIA DE
IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO, PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE
Peltophorum dubium (Sprengel) Taubert**

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

Orientador: Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini

Coorientadora: Prof^a Dr^a Magali Ribeiro da Silva

Botucatu

2018

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

S586c Silva, Laura Oliveira Cleto da, 1992-
Composto de lodo de esgoto, associado a frequência de irrigação e fertirrigação, para produção de mudas de *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert / Laura Cleto da Silva. - Botucatu: [s.n.], 2018
107 p.: grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Iraê Amaral Guerrini
Coorientadora: Magali Ribeiro da Silva
Inclui bibliografia

1. Árvores - Mudas - Produção. 2. Árvores - Mudas - Irrigação. 3. Adubos compostos. I. Guerrini, Iraê Amaral. II. Silva, Magali Ribeiro da. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. IV. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO, ASSOCIADO À FREQUÊNCIA DE IRRIGAÇÃO E FERTIRRIGAÇÃO, PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert"

AUTORA: LAURA OLIVEIRA CLETO DA SILVA

ORIENTADOR: IRAÊ AMARAL GUERRINI

COORIENTADORA: MAGALI RIBEIRO DA SILVA

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 Agronômicas de Botucatu



Prof.^a Dr.^a GISELA FERREIRA

Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. JACOB SILVA SOUTO

Engenharia Florestal / Universidade Federal de Campina Grande - Campus de Patos

Botucatu, 22 de novembro de 2018.

Aos meus amados pais e Milka,

dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha rocha e fortaleza.

Aos meus amados pais por me darem o privilégio de poder estudar.

À Milka, pelas doces lembranças que enchem meu coração de alegria.

Ao Prof. Dr. Iraê Amaral Guerrini, pela orientação, parceria e amizade.

À Profa. Dra. Magali Ribeiro da Silva, pela coorientação e amizade.

Ao meu noivo Vitor, pelo companheirismo e apoio.

Aos colegas de trabalho, Aline, Deicy, Jhuan, Mônica e Makarrão, por toda ajuda e momentos de descontração, que ajudaram a recuperar o fôlego.

Em especial à Aline Cássia da Fonseca por toda ajuda, colaboração, parceria e amizade.

A todos os funcionários do viveiro, Claudinho, Seu João, Dinho e Chiquinho, que sempre ajudaram quando solicitado, tornando possível a realização deste trabalho.

Ao Projeto “Compostagem do Lodo de Esgoto” SABESP/FAPESP e à equipe integrante. Sou muito grata por fazer parte deste projeto e deste time.

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida.

Não há gratidão maior do que atingir uma meta através do nosso próprio mérito e esforço.

“Tudo vale a pena quando a alma não é pequena.

Deus ao mar, o perigo e o abismo deu, mas nele é que espelhou o céu”.

Fernando Pessoa.

RESUMO

O descarte inadequado do lodo de esgoto tem se tornado um problema ambiental. Em alguns estados brasileiros, como São Paulo, seu uso *in natura* ainda é proibido, portanto, uma alternativa bastante promissora é realizar sua compostagem com outros materiais e emprega-lo como substrato na produção de mudas florestais. O objetivo deste estudo foi avaliar se o composto de lodo de esgoto influenciaria nas variáveis morfológicas e nutricionais das mudas de *Peltophorum dubium*. Foram feitos dois compostos: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE), ambos na proporção 1:1. Para controle, foi usado um substrato comercial. Foram realizados dois experimentos, utilizando os mesmos substratos e a mesma espécie vegetal. O primeiro experimento foi realizado em esquema Fatorial 3x3 inteiramente casualizado, testando três frequências de irrigação: duas, três e quatro vezes ao dia. O segundo experimento foi realizado em esquema Fatorial 4x3 inteiramente casualizado: quatro doses crescentes de fertirrigação: zero, dose padrão, dose duplicada e dose quadruplicada e três substratos. Para avaliar o desenvolvimento das mudas, avaliou-se: altura (H), diâmetro de colo (DC), relação H/D, massa seca aérea e radicular, Índice de cor verde, Índice de Qualidade de Dickson (IQD), perda de água por lixiviação, água retida no substrato, teor e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal. As mudas produzidas em composto de lodo de esgoto com casca de eucalipto (LCE) submetidas às frequências de duas ou três vezes ao dia, recebendo a dose padrão de fertirrigação duas vezes por semana, apresentaram os melhores resultados para todas as variáveis.

Palavras-chave: Compostagem. Bio sólido. Água. Viveiro florestal. Espécie nativa.

ABSTRACT

The inadequate disposal of sewage sludge has increasingly become an environmental problem. In some Brazilian States, especially in the State of São Paulo, the use of this compound *in natura* is still very restrict. Thus, a promising solution for this environmental problem is to compost sewage sludge with other compounds and use it as substrate in forest seedling productions. In this context, the present research evaluated the influence of the composted sewage sludge in morphological, physiological and nutritional variables on seedlings of *Peltophorum dubium*. Two different compounds were applied: sewage sludge composted with eucalyptus bark (LCE) and sewage sludge composted with sugarcane bagasse (LBC). Both compounds were made in 1:1 proportions. A commercial substrate was utilized for control. Two experiments were conducted with the same substrates and the same species. The first experiment was completely randomized in a 3x3 factorial design, and three frequencies of irrigation were tested: two, three and four per day. The statistical design of the second experiment was one factorial (3X4) completely randomized three substrates and four doses of fertirrigation: zero, control dose, duplicated dose and quadruplicated dose. To evaluate the development of the seedling's morphological variables, the following features were measured monthly: plant height, stem diameter ratio, shoot/root ratio, leaf dry mass, root dry mass, total dry mass, green color index, Dickson quality index (IQD), water loss through leaching, substrate water retain capacity and nutritional content and accumulation of the plant tissue. The seedlings produced with sewage sludge composted with eucalyptus bark showed the best average of height and stem diameter ratio while submitted to irrigation frequencies of two or three times per day and control dose of fertirrigation two times per week.

Keywords: Composting. Biosolid. Water. Forest nursery. Native species.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos submetidos à dose zero	79
Figura 2 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação padrão (1x).....	80
Figura 3 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação padrão (1x).....	80
Figura 4 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação duplicada (2x).....	81
Figura 5 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação duplicada (2x).....	81
Figura 6 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação quadruplicada (4x)	82
Figura 7 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação quadruplicada (4x)	82

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Altura inicial das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> aos 60 dias após a semeadura, antes da instalação do experimento	38
Tabela 2 - Análise química de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) disponíveis nos substratos	40
Tabela 3 - pH e condutividade elétrica em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos utilizados	40
Tabela 4 - Análise física dos substratos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), capacidade de retenção de água (RA), pH e condutividade elétrica (EC)	42
Tabela 5 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação na altura (cm) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura.....	43
Tabela 6 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação no diâmetro de colo (mm) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura...	44
Tabela 7 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação na relação altura/diâmetro (H/D) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após semeadura	45
Tabela 8 - Índice de Cor Verde (I.C.V.) para avaliação de N (nitrogênio) nas folhas de <i>Peltophorum dubium</i> , 150 dias após a semeadura	45
Tabela 9 - Massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em gramas das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> , 150 dias após a semeadura.....	46
Tabela 10 - Qualidade das raízes das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	47
Tabela 11 - Qualidade das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) 150 dias após a semeadura	47
Tabela 12 - Teor e acúmulo de macronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura	48
Tabela 13 - Teor e acúmulo de micronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura	50

Tabela 14 - Teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura	51
Tabela 15 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura	52
Tabela 16 - Acúmulo de macronutrientes na massa seca total das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura	54
Tabela 17 – Retenção de água dos substratos e perda de água por lixiviação	55
Tabela 18 - Altura inicial das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> aos 60 dias após a semeadura, antes da instalação do experimento	72
Tabela 19 - Análise química dos macronutrientes (g kg^{-1}) e dos micronutrientes (mg kg^{-1}) disponíveis nos substratos antes da instalação do experimento ...	72
Tabela 20 - Análise química dos macronutrientes (g kg^{-1}) disponíveis nos substratos ao final do experimento, em função dos tratamentos	73
Tabela 21 - Análise química dos micronutrientes disponíveis nos substratos ao final do experimento, em função dos tratamentos	73
Tabela 22 - Análise física dos substratos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT) e capacidade de retenção de água (RA), pH e condutividade elétrica (EC)	76
Tabela 23 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação na altura (cm) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura.....	76
Tabela 24 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação no diâmetro de colo (mm) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura.....	77
Tabela 25 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação na relação altura/diâmetro (H/D) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	78
Tabela 26 - Massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em gramas (g) das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura.....	78

Tabela 27 - Qualidade das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD), 150 dias após a semeadura, em função dos tratamentos	83
Tabela 28 - Teor e acúmulo de macronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	84
Tabela 29 - Teor e acúmulo de micronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	85
Tabela 30 - Teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	87
Tabela 31 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	88
Tabela 32 - Acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca total das mudas de <i>Peltophorum dubium</i> 150 dias após a semeadura	89

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
REVISÃO DE LITERATURA	25
Lodo de esgoto	25
Substratos	26
Irrigação	27
Nutrientes	28
<i>Peltophorum dubium</i> (Sprengel) Taubert	29
CAPÍTULO 1 - COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Peltophorum dubium</i> (Sprengel) Taubert SOB TRÊS FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO	33
1.1 INTRODUÇÃO	34
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	36
1.3 RESULTADOS	42
1.4 DISCUSSÃO	55
1.5 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	61
CAPÍTULO 2 - COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE <i>Peltophorum dubium</i> (Sprengel) Taubert ASSOCIADO A DOSES CRESCENTES DE FERTIRRIGAÇÃO	66
2.1 INTRODUÇÃO	67
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	69
2.3 RESULTADOS	75
2.4 DISCUSSÃO	90
2.5 CONCLUSÃO	96
REFERÊNCIAS	96
CONSIDERAÇÕES FINAIS	101
REFERÊNCIAS	103

INTRODUÇÃO GERAL

O aumento de resíduos orgânicos é consequência do crescimento populacional somado à urbanização. Dentre estes resíduos, encontra-se o lodo de esgoto, resíduo final gerado nas estações de tratamento de esgoto. Sua crescente produção e seu descarte inadequado, o converte em um problema ambiental.

No entanto, aumentou-se também a preocupação em relação às questões ambientais, sobretudo, no que diz respeito à reutilização destes resíduos (HECK et al., 2013). Atualmente, a principal reutilização do lodo de esgoto é na aérea agrícola e florestal, empregando-o como fertilizante orgânico e/ou substrato para produção de espécies para uso agrícola, com destaque para o milho, como também para produção de espécies nativas (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015).

O lodo de esgoto puro é um material rico em nutrientes e matéria orgânica, sendo uma excelente fonte de nutrição para as plantas (CALDEIRA et al., 2013). Contudo, este resíduo pode conter altas taxas de metais pesados e patógenos nocivos à saúde pública, portanto, seu uso *in natura* está proibido pela Resolução CONAMA Nº 375/2006, principalmente no estado de São Paulo e Paraná (FARIA et al., 2017).

Para que o lodo de esgoto possa ser utilizado na área agrícola e florestal, é necessário que o mesmo passe por um processo de compostagem com algum material estruturante rico em carbono, como podas de árvores, bagaço de cana, casca de eucalipto, serragem, entre outros; para que ocorra a estabilização deste material e a eliminação dos patógenos. Depois de compostado, o lodo de esgoto pode ser utilizado como substrato ou como fertilizante orgânico classe D (IN nº 25/2009) (BRASIL, 2009).

A crescente preocupação em relação às questões ambientais, também fez crescer a demanda por espécies nativas nos últimos anos, para atender aos programas de restauração florestal e recuperação de áreas degradadas.

Uma espécie que vem sendo muito utilizada atualmente é a *Peltophorum dubium*, popularmente conhecida como canafístula, por apresentar rápido crescimento, rusticidade, madeira rígida e características de espécie pioneira (CRUZ et al., 2011; BERTOLINI; DEBASTIANI; BRUN, 2015).

A canafístula é uma espécie nativa pertencente à família das leguminosas (Fabaceae) e subfamília Caesalpinioideae. Sua ocorrência abrange o nordeste da Argentina, leste do Paraguai, norte do Uruguai e Brasil. No Brasil ocorre nos seguintes

estados: Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (CARVALHO, 2002).

Sua madeira é considerada de alta qualidade, moderadamente pesada, rígida e de longa durabilidade, muito usada em construções civis, decorações e paisagismo, produção de energia, papel e celulose, entre outros (ECKERT et al., 2015).

Informações sobre manejo hídrico e nutricional de espécies nativas ainda são escassas na literatura, sendo necessário que mais estudos sejam realizados, a fim de melhorar a qualidade e o desempenho destas espécies durante a produção (DUTRA; MASSAD; SANTANA, 2012).

Nossa primeira hipótese é que a frequência de irrigação mais adequada irá depender das características físicas de cada substrato, já que a capacidade de retenção de água dos substratos está diretamente relacionada com sua densidade.

De acordo com a literatura, o lodo de esgoto puro é viável como substrato para produção de mudas de espécies florestais. Nossa segunda hipótese, portanto, é que o lodo de esgoto, quando compostado, seja viável para produção de mudas de *Peltophorum dubium*, sem a necessidade de se utilizar fertilizantes químicos.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se o lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana e o lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto associado a frequências de irrigação e a doses crescentes de fertirrigação influenciam no desenvolvimento das mudas de *Peltophorum dubium*.

REVISÃO DE LITERATURA

Lodo de esgoto

A prática de se aproveitar o lodo de esgoto na agricultura é muito antiga, originária da China. No ocidente, existem relatos do reaproveitamento deste resíduo desde 1560. Atualmente, em países desenvolvidos, o lodo de esgoto é utilizado a mais de 30 anos em áreas agrícolas e florestais. Entretanto, no Brasil, esta prática ainda é pouco comum e isso se agrava com a insuficiência ou inexistência do tratamento de esgoto em várias regiões do país (BETTIOL e CAMARGO, 2006; ITB, 2018).

Nas estações de tratamento de esgoto (ETEs), o esgoto passa por quatro processos de tratamento: primário, secundário, terciário e avançado. No tratamento primário, os resíduos sólidos e em suspensão são separados por gradeamento e decantação. No tratamento secundário, retira-se a matéria orgânica. O lodo de esgoto é o resultado destes dois processos (BERTON e NOGUEIRA, 2010).

A disposição final do lodo deveria ser de responsabilidade das ETEs, porém, a maioria não realiza seu descarte de forma adequada, devido à complexidade e ao alto custo que este processo pode representar (PEDROZA et al, 2010). Atualmente, o principal local de descarte do lodo de esgoto são os aterros sanitários, porém, este tipo de descarte é inapropriado e traz consequências prejudiciais à saúde pública e ao meio ambiente.

A Resolução CONAMA Nº 375/2006, que regulamenta o uso do lodo de esgoto no Brasil proíbe seu uso *in natura*, devido à má qualidade ou até mesmo inexistência de infraestruturas de saneamento básico no país (PEPPER; BROOKS; GERBA, 2006). Por exemplo, nos estados de São Paulo e Paraná o lodo de esgoto só pode ser utilizado depois de compostado.

A compostagem do lodo de esgoto ocorre a partir da sua mistura com materiais estruturantes. Essa mistura deve ser disposta em uma pilha, denominada leira. Para acelerar o processo de compostagem, o ideal é que o material estruturante esteja em fragmentos de 0,5 a 4,0 cm (KIEHL, 2004) para auxiliar na aeração do composto, favorecendo a ação dos microrganismos. Além disso, a umidade ideal da leira deve estar entre 55% e 65% de UR.

A relação C/N deve ser de 20 ou 30, ou seja, 20 a 30 unidades de C (carbono) para uma unidade de N (nitrogênio). A temperatura deve ficar acima de 55°C para que ocorra a eliminação dos patógenos. Durante o processo de compostagem é

necessário revolver a leira algumas vezes para promover aeração e melhor mistura dos materiais. Quando a temperatura se estabilizar significa que o composto está pronto para uso (FARIA, 2017).

Estudos tem demonstrado que a sobrevivência dos patógenos presentes no lodo é diretamente influenciada pela temperatura do ambiente. Quanto mais elevada a temperatura do ambiente, menos resistentes estes organismos se tornam. Como o Brasil é um país de clima tropical, os patógenos acabam morrendo em menor tempo em comparação à países de clima frio (FARIA et al., 2017). Isto significa que o lodo de esgoto poderia ser utilizado *in natura*.

Quando compostado, o lodo de esgoto passa a ser denominado biossólido. Este termo ganhou força em diversos países na década de 80, cuja finalidade foi apenas substituir a conotação pejorativa ao termo lodo de esgoto para uma conotação mais aceitável comercialmente (GUEDES et al., 2006).

Por possuir elevadas concentrações de macro e micronutrientes, elevado conteúdo de água e matéria orgânica, o lodo de esgoto apresenta características desejáveis para ser aproveitado como substrato ou fertilizante orgânico na produção de mudas florestais, atuando diretamente no desenvolvimento da planta e contribuindo para o aumento da produtividade (BEZERRA et al., 2006; SIQUEIRA et al., 2017).

Substratos

Substratos podem ser caracterizados como todo material orgânico ou inorgânico que proporcione estabilidade às mudas, boa aeração e porosidade para as raízes e que permita boa retenção de água, mesmo que não forneça quantidades significativas de nutrientes para as plantas (VENCE, 2008).

A escolha do substrato é um dos fatores mais importantes na produção de mudas. Suas características físicas, químicas e biológicas determinam a taxa de germinação, o desenvolvimento radicular e o enraizamento (CALDEIRA et al., 2000).

As propriedades físicas não interferem nas características nutricionais dos substratos e não podem ser alteradas, ao contrário das características químicas que acabam se modificando ao longo do tempo (KRATZ et al., 2013).

O substrato utilizado implica diretamente na qualidade das mudas, portanto, é necessário caracteriza-lo física e quimicamente antes de utiliza-lo, para avaliação de sua qualidade e entender seu desempenho ao longo da produção (FERRAZ;

CENTURION; BEUTLER, 2005; KRATZ et al., 2013). Os substratos devem apresentar características físicas e químicas adequadas para que a muda apresente desenvolvimento satisfatório da parte aérea e do sistema radicular (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2014).

Resíduos orgânicos, especialmente o lodo de esgoto, tem demonstrado ser uma alternativa viável e sustentável para a produção de mudas florestais, pois possuem os nutrientes que as plantas necessitam, além de contribuir para reduzir os problemas ambientais (TRAZZI et al., 2014; ROCHA et al., 2013).

Pesquisas testando o lodo de esgoto puro ou compostado na formulação de substratos têm apresentado resultados muito positivos, oferecendo uma alternativa bastante promissora no processo de produção de mudas (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

O uso de casca de eucalipto e bagaço de cana como substrato para a produção de mudas ainda é pouco estudado, sendo mais utilizados em processos de compostagem para uso direto nos plantios comerciais de eucalipto e cana, respectivamente.

A casca de eucalipto é um material grosseiro, de difícil decomposição, e que exige, após o período de compostagem, que o produto resultante seja peneirado para que os pedaços maiores de casca retornem ao início do processo. É um material que fornece bastante porosidade e aeração à pilha de compostagem, principalmente quando usado com lodo de esgoto ou lodo de fábrica de papel e celulose, que são resíduos com alto conteúdo de água.

O bagaço de cana, por sua vez, é um material fibroso de mais fácil decomposição, não necessitando de peneiramento no final do processo de compostagem. Por ser constituído de partículas menores, muitas vezes as pilhas de compostagem necessitam de maior quantidade de revolvimento quando se utilizam resíduos com excesso de umidade, como é o caso do lodo de esgoto.

Irrigação

A água exerce grande influência em todos os processos fisiológicos e metabólicos das plantas (MORAIS et al., 2007). A irrigação nos viveiros florestais tem essencial função no cultivo das espécies (ALVES JÚNIOR et al., 2016), pois a água influencia diretamente na qualidade das mudas, sendo determinante principalmente na fase inicial. A falta de água pode levar à planta ao déficit hídrico, afetando

crescimento, anatomia, fisiologia e bioquímica, enquanto que a água em excesso pode causar a lixiviação dos nutrientes (LEA-COX, 2001; TAIZ e ZEIGER, 2013; THEBALDI et al., 2016).

Nos viveiros florestais, a irrigação costuma ser determinada de forma subjetiva, através da análise visual. O ideal seria empregar um manejo hídrico específico para um determinado grupo de espécies com características semelhantes (NIU et al., 2006), porém, é muito comum padronizar o consumo hídrico para espécies nativas, devido à escassez de informações ou falta de recursos.

A padronização da irrigação pode acarretar em manejos insuficientes ou excessivos, de forma que as mudas não consigam atingir seu potencial máximo de desenvolvimento (BEESON, 2004; KJELGREN, 2006; TATAGIBA et al., 2015). Além disso, o gasto desnecessário de água deprecia o meio ambiente (WENDLING e GATTO, 2002; MANGIAFICO et al., 2008).

Segundo Wendling e Gatto (2002), a lâmina e a frequência de irrigação devem ser determinadas de acordo com a espécie escolhida e também com o tipo de substrato utilizado. Substratos com maior porcentagem de microporosidade costumam ser mais densos, apresentando maior capacidade de retenção de água, enquanto substratos com maior porcentagem em macroporosidade, apresentam baixa densidade, refletindo em uma baixa capacidade de retenção de água (KRATZ, 2013).

Substratos constituídos de resíduos orgânicos costumam ser mais densos e, conseqüentemente, conseguem reter maior quantidade de água em comparação aos substratos comerciais, principalmente quando estes contêm casca de arroz em sua composição, refletindo em uma densidade baixa, e uma menor capacidade de retenção de água (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

De acordo com Wendling e Gatto (2002), nas fases de germinação e desenvolvimento inicial das mudas, a frequência de irrigação deve ser intensa e de menor duração, enquanto que na fase de crescimento e rustificação, as mudas tendem a apresentar o desenvolvimento mais satisfatório quando submetidas a irrigações mais espaçadas e com maior duração.

Nutrientes

O lodo de esgoto apresenta características desejáveis para ser utilizado como substrato na produção de mudas florestais, devido a altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes em sua composição, contribuindo para um melhor

desenvolvimento da planta (BARONE; SILVA; FERRAZ, 2018). A adição deste resíduo enriquece solos e substratos, elevando o teor de nutrientes, especialmente C (carbono), N (nitrogênio), P (fósforo), Ca (cálcio) Fe (ferro), Zn (zinco) e Cu (cobre) (BEZERRA et al. 2006).

Santos et al. (2014) recomendam o uso de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais devido a grandes quantidades de P, N e Ca que estes resíduos apresentam. Solos e substratos contendo lodo de esgoto são, em geral, mais férteis.

O clorofilômetro SPAD, indica o Índice de cor verde na folha, a partir de um cálculo que abrange a quantidade de luz emitida pelo equipamento e a quantidade de luz na folha. Este cálculo indica o teor de N nas folhas das plantas (SANT'ANA; SANTOS; SILVEIRA, 2010).

Apesar do lodo de esgoto puro ser uma excelente fonte de elementos químicos nutritivos para as plantas, quando compostado, estes nutrientes acabam sendo diluídos. Dessa forma, é possível que o composto necessite da complementação com fertilizantes químicos (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004).

A casca de eucalipto já é um material de baixa fertilidade, mas importante no processo de compostagem por fornecer maior porosidade e aeração à pilha. Ainda assim, Andrade et al. (2011) verificaram que a casca do eucalipto armazena quantidades de Ca (cálcio), K (potássio), Mg (magnésio), Na (sódio), Mn (manganês) e Fe (ferro). O elemento com maior disponibilidade costuma ser o cálcio (82-95%), seguido por potássio e magnésio.

O bagaço-de-cana, por sua vez, é o produto final gerado da extração do caldo de cana-de-açúcar, material constituído de baixo valor nutritivo. Apesar destas características, é um material de fácil decomposição e seu uso pode se tornar mais eficiente se for misturado a outros compostos mais ricos, como o lodo de esgoto. (SARMENTO; GARCIA; PIRES, 2001; FERREIRA, 2015).

***Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert**

A espécie *Peltophorum dubium* é popularmente conhecida por diversos nomes comuns, dos quais os mais conhecidos são canafístula e angico-amarelo. Esta planta é uma espécie nativa de rápido crescimento, rusticidade e vem sendo muito utilizada em reflorestamentos de áreas degradadas (CRUZ et al., 2011).

Pertencente à família Fabaceae (i.e., leguminosas) e subfamília Caesalpinioideae, a canafístula pode ser frequentemente encontrada na Floresta Estacional Semidecidual. Na natureza essa espécie costuma ocupar clareiras, bordas e locais com maior incidência de luz. É considerada uma espécie secundária com características de pioneira, pois geralmente compõe formações de capoeiras (BERTOLINI; DEBASTIANI; BRUN, 2015). Apresenta rápido crescimento e maior acúmulo de biomassa quando comparada a outras espécies nativas, além de ser muito resistente, apresentando taxa de sobrevivência superior a 80% (CRUZ et al., 2011).

Sua ocorrência abrange desde o nordeste da Argentina, ao leste do Paraguai, norte do Uruguai e Brasil. No Brasil ocorre nos seguintes estados: Alagoas, Bahia, Espírito Santo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (CARVALHO, 2002).

Considerada uma espécie de grande porte, pode atingir até 40 metros de altura e 120 cm de diâmetro, apresentando uma copa ampla, umbeliforme, larga e achatada. Suas folhas possuem características decíduas e semi-decíduas, alternadas e compostas. Seu fruto é do tipo com vagem e indeiscente que gera de uma a duas sementes (SILVA, 2007).

As sementes da canafístula são ortodoxas (MÜLLER et al., 2016) e apresentam dormência do tipo tegumentar, causada pela impermeabilidade da água no tegumento. Apesar de ser um fenômeno natural, muito comum entre as espécies da família Fabaceae, caracterizado pelo atraso da germinação, mesmo quando se encontra em condições favoráveis (luz, água, oxigênio e temperatura), é recomendado que seja feita a quebra dessa dormência, através de diferentes processos, a fim de facilitar a germinação das sementes (OLIVEIRA; DAVIDE; CARVALHO, 2003; MOROZESK et al., 2014).

Ocorre naturalmente em vários tipos de solos, mas demonstram preferência por solos com alta fertilidade química. Apresentam resistência positiva em solos com adubação química, bem drenados e com textura argilosa. Porém, esta espécie não costuma tolerar solos rasos, pedregosos ou demasiadamente úmidos (GUERRA, 1982).

Um estudo realizado por Nicodemo et al. (2009) demonstrou que a canafístula apresentou taxa de 90% de sobrevivência e maior desenvolvimento quando cultivada na região sudeste do Brasil.

Sua madeira é considerada de alta qualidade, moderadamente pesada, rígida e de longa durabilidade, e é utilizada em construções civis, decorações e paisagismo, produção de energia, papel e celulose, entre outros (LORENZI, 2002; ECKERT et al., 2015).

Ainda faltam informações na literatura sobre as exigências hídricas e nutricionais das espécies nativas, e como isso afeta seu desenvolvimento. Este conhecimento é fundamental para se realizar um manejo adequado na produção de mudas e nos plantios de campo (CRUZ et al., 2011).

CAPÍTULO 1
COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert SOB TRÊS FREQUÊNCIAS DE IRRIGAÇÃO

Autores: Laura Oliveira Cleto da Silva, Aline Cássia da Fonseca, Deicy Carolina Lozano Sivilsaca, Magali Ribeiro da Silva, Roberto Lyra Villas Boas, Iraê Amaral Guerrini

RESUMO

Uma alternativa bastante promissora para reaproveitar o lodo de esgoto é realizar sua compostagem com outros materiais e emprega-lo como substrato na produção de mudas florestais. Substratos com lodo de esgoto costumam ser mais densos, apresentando maior capacidade de retenção de água em relação aos substratos comerciais. Portanto, o objetivo deste estudo foi avaliar qual frequência de irrigação seria mais adequada de acordo com as características físicas de cada substrato, e se isso influenciaria nas variáveis morfológicas e nutricionais das mudas de *Peltophorum dubium*. Foram feitos dois compostos: lodo de esgoto compostado com bagaço-decana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE), ambos na proporção 1:1. Para controle, utilizou-se um substrato comercial. O experimento foi realizado em esquema Fatorial 3x3 inteiramente casualizado, sendo três substratos e três frequências de irrigação: duas, três e quatro vezes ao dia. Para aferir o desenvolvimento das mudas, avaliou-se altura (H), diâmetro de colo (DC), relação H/D, massa seca aérea e radicular, Índice de cor verde, Índice de Qualidade de Dickson (IQD), perda de água por lixiviação, água retida no substrato, teor e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal. As mudas produzidas em composto de lodo de esgoto com casca de eucalipto (LCE) submetidas às frequências de duas ou três vezes ao dia, recebendo a dose padrão de fertirrigação duas vezes por semana, apresentaram os maiores resultados para todas as variáveis.

Palavras-chave: Compostagem, canafístula, viveiro florestal, biossólido, água.

ABSTRACT

A promising alternative to reuse sewage sludge is to compost it with other compound materials and apply as substrate in seedling production. When compared with commercial substrates, sewage sludge substrate are usually more dense with higher capability of water retention, influencing on seedling development. Thus, this study evaluated the sewage sludge compound with different frequencies of irrigation and the effect in morphological and nutritional variables in *Peltophorum dubium* seedlings. The objective of this study was to evaluate if different irrigation frequencies influenced in morphological, physiological and nutritional variability in seedlings of *Peltophorum dubium*. For this work, two composts were produced: sewage sludge composted with eucalyptus bark (LCE) and sewage sludge composted with sugarcane bagasse (LBC), both in 1:1 proportion. Commercial substrate was used for control. This study was completely randomized in a 3x3 factorial design, which three substrates and frequencies of irrigation were tested: two, three and four per day. The evaluated parameters were: plant height, stem diameter ratio, shoot/root ratio, leaf dry mass, root dry mass, total dry mass, green color index, Dickson quality index (IQD), water loss through leaching, substrate water retain capacity and nutritional content and accumulation of the plant tissue. The seedlings produced with sewage sludge composted with eucalyptus bark, with irrigation frequencies of two or three times a day and fertirrigation applied two times a week showed the best results, compared with other variables.

Keywords: Composting, canafístula, forest nursery, biosolid, water.

1.1 INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto é o resíduo sólido produzido ao final do tratamento de esgoto. A quantidade produzida deste resíduo é proporcional ao tamanho populacional. O Estado de São Paulo é o estado com a maior porcentagem de coleta de esgoto (75,39%) e esgoto tratado (70,92%) (CASTRO; SILVA; SCALIZE, 2015).

Entretanto, muitas vezes este resíduo é descartado de forma inapropriada, causando danos ao meio ambiente. Dessa forma, é de extrema importância o desenvolvimento de alternativas seguras para que resíduos orgânicos possam ser reaproveitados.

Constituído por matéria orgânica, macro e micronutrientes essenciais às plantas, uma alternativa bastante promissora e sustentável seria empregar o lodo de esgoto como fertilizante orgânico ou substrato para produção de mudas florestais, contribuindo com a preservação do meio ambiente (JOO et al., 2015; CABREIRA et al., 2017). Contudo, a Resolução CONAMA Nº 375/2006, legislação vigente que regulamenta o uso do lodo de esgoto no Brasil ainda é bastante rigorosa quanto ao seu uso *in natura*, principalmente no estado de São Paulo e Paraná, devido aos metais pesados e patógenos que este resíduo pode conter (FARIA et al., 2017). Para que este resíduo se torne viável para ser aplicado na área agrícola e florestal como substrato e/ou fertilizante orgânico, ele deve ser compostado com outros materiais estruturantes (ABREU et al., 2017).

Com a crescente preocupação com as questões ambientais, aumentou-se também a procura por mudas de espécies nativas para serem utilizadas em programas de restauração florestal. A espécie *Peltophorum dubium*, popularmente conhecida como canafístula é uma destas espécies procuradas. É considerada atualmente de alto valor econômico e comercial. Sua madeira é considerada de alta qualidade por ser moderadamente pesada, rígida e de longa durabilidade; muito utilizada em construções civis, decorações e paisagismo, produção de energia, papel e celulose, entre outros (SILVA et al., 1982; LORENZI, 1992).

A canafístula costuma apresentar desenvolvimento satisfatório quando cultivada em solos ou substratos de boas condições hídricas, porém sem excesso de água (BERTOLINI; DEBASTIANI; BRUN, 2015).

Uma irrigação adequada é essencial para compor mudas de qualidade e deve ser determinada de acordo com a espécie escolhida e também com o tipo de substrato utilizado (BRIGGS et al., 1998; LOPES; GUERRINI; SAAD, 2008).

A capacidade de retenção de água dos substratos está diretamente relacionada com sua densidade e porosidade. Substratos a base de lodo de esgoto costumam ser bastante densos, portanto conseguem reter maior quantidade de água (KRATZ, 2013; ABREU et al., 2017).

Nos viveiros florestais é muito comum a padronização da irrigação. Isto pode acarretar em manejos insuficientes ou excessivos, de forma que as mudas não conseguem atingir seu potencial máximo de desenvolvimento (BEESON, 2004; MONTAGUE e KJELGREN, 2006; TATAGIBA et al., 2015). Além disso, o gasto

desnecessário de água pode causar danos ao meio ambiente (WENDLING e GATTO, 2002; MANGIAFICO et al., 2008).

Na fase de germinação e na fase inicial do desenvolvimento das mudas, a frequência de irrigação deve ser mais intensa e de menor duração. Já na fase de crescimento e rustificação, as mudas tendem a apresentar desenvolvimento satisfatório quando submetidas a irrigações mais espaçadas entre si e com maior duração (WENDLING e GATTO, 2002).

Nossa hipótese é que, de acordo com dados disponíveis na literatura, as mudas de *Peltophorum dubium* apresentam desenvolvimento satisfatório quando produzidas nos compostos com lodo de esgoto, e que frequência de irrigação mais adequada depende das propriedades físicas de cada substrato.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar se os compostos com lodo de esgoto submetidos à diferentes frequências de irrigação influenciam nas variáveis morfológicas e nutricionais das mudas de *Peltophorum dubium*, e se há relação entre os substratos, frequências de irrigação e desenvolvimento da planta.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento teve início em agosto de 2017 e foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – Unesp, Campus Botucatu-SP, no viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais, onde o clima é classificado como temperado quente pelo método de classificação internacional de Koppen (CUNHA e MARTINS, 2009).

O delineamento foi em esquema fatorial 3x3 inteiramente casualizado, contendo três substratos e três frequências de irrigação: duas, três e quatro vezes ao dia, totalizando nove tratamentos. Para todas as frequências de irrigação, fixou-se uma lâmina de irrigação de 12 milímetros, de acordo a literatura. Cada frequência foi disponibilizada em um canteiro independente, totalizando três canteiros. Os horários da irrigação foram pré-estabelecidos de acordo com as maiores temperaturas do dia e estão descritos no quadro 1.

Quadro 1 - Frequências e horários das irrigações determinados de acordo com as maiores temperaturas do dia

L12F2 - 6 mm às 10h e 6 mm às 15h

L12F3 - 4 mm às 10h, 4 mm às 13h e 4 mm às 16h

L12F4 - 3 mm às 10h, 3 mm às 12h, 3 mm às 14h e 3 mm às 16h

L12F2: Lâmina de 12 mm na frequência de duas vezes ao dia; L12F3: Lâmina de 12 mm na frequência de três vezes ao dia; L12F4: Lâmina de 12 mm na frequência de quatro vezes ao dia.

Cada canteiro continha doze bandejas, sendo quatro bandejas por substrato: substrato comercial (SC), lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE), totalizando 4 repetições por substrato. Cada bandeja continha 20 mudas, totalizando 80 mudas por substrato, 240 mudas por canteiro e 720 mudas no total.

A espécie *Peltophorum dubium*, popularmente conhecida como canafístula, foi escolhida para este estudo por apresentar rápido crescimento e possuir alto valor econômico, sendo muito utilizada atualmente para recuperação de áreas degradadas.

As sementes de canafístula possuem dormência do tipo tegumentar e, portanto, foi utilizado choque térmico para superação da dormência. As sementes foram submetidas à água quente a 92°C e logo transferidas para água fria, onde permaneceram por 24 horas, segundo a metodologia descrita por Oliveira; Davide; Carvalho (2003). Em seguida, as sementes foram colocadas nos tubetes já preenchidos com substrato e levadas para o canteiro com sombrite para germinação, onde permaneceram por aproximadamente 60 dias até formarem plântulas, e então foram transferidas para os canteiros, e aplicado os tratamentos.

Após o crescimento inicial das mudas, realizou-se o desbaste, deixando apenas uma muda por tubete de acordo com seu desenvolvimento, forma e posicionamento. Antes de serem submetidas em seus respectivos tratamentos, as mudas foram selecionadas de acordo com a altura, para garantir que os tratamentos obtivessem médias homogêneas, como pode ser observado na tabela a seguir (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura inicial das mudas de *Peltophorum dubium* aos 60 dias após a semeadura, antes da instalação do experimento

Substrato	Altura (cm)	Desvio padrão (cm)	CV
SC	1,7 b	0,1	9,7
LBC	1,8 b	0,4	21,3
LCE	2,4 a	0,4	15,6

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

O lodo de esgoto *in natura* foi fornecido pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), localizada dentro do Campus da FCA/Unesp – Botucatu, onde também foi realizada a compostagem como parte do projeto “Compostagem do Lodo de Esgoto: Avaliação do Processo, do Produto Gerado e dos Custos” (Programa Parceria Para Inovação Tecnológica-Pite Fapesp-Sabesp, Processo 2013/50413-0).

Foram produzidos dois compostos: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE), ambos na proporção 1:1 (RELATÓRIO CIENTÍFICO PARCIAL 2, 2017), permanecendo na leira durante 45 dias. Após esse período, parte dos compostos foram transferidos para o viveiro. Para o tratamento testemunha, utilizou-se um substrato comercial composto de casca de arroz, composto de turfa e vermiculita. Foram testadas algumas proporções volumétricas de lodo de esgoto e material estruturante, porém, não havendo diferença entre elas, adotou-se a proporção 1:1, para que fosse utilizada a maior quantidade de lodo, dando um fim a este resíduo.

No viveiro, os compostos foram peneirados em peneira de 5,5 mm de abertura, tamanho padrão empregado pelas empresas de substrato. Posteriormente, os compostos a base de lodo de esgoto foram umidificados com água em betoneira e utilizados para preencher os tubetes. Após esta etapa, colocou-se duas sementes de *Peltophorum dubium* em cada tubete para germinação.

A partir dos 90 dias após a semeadura, as mudas começaram a receber adubação química via fertirrigação, duas vezes por semana, às terças e sextas-feiras, sempre após a última irrigação, entre 16h e 16h e 30min. A fertirrigação era realizada manualmente por sistema Venturi, caracterizado, segundo Santos e Zocoler (2015) por ser um sistema fechado que opera sob baixa pressão. Sua formulação está

descrita no quadro 2, e foi adaptada por Silva e Silva (2015) a partir da formulação padrão utilizada nos viveiros comerciais.

Quadro 2 - Formulação padrão da fertirrigação utilizada em viveiros florestais

Fertilizantes utilizados na Fertirrigação	(Gramas/litro) Tambor de 64 litros
Nitrato de Cálcio	1447,9
MAP (Fosfato Monoamônico)	349,4
Cloreto de Potássio	782,1
Sulfato de Amônio	183,0
Uréia	898,5
Sulfato de magnésio	865,3
Ferro 13%	49,9
Solução de micronutrientes**	832,0
Solução de micronutrientes	Quantidade (g/litro)
Ácido Bórico	6,0
Sulfato de cobre	0,6
Sulfato de zinco	1,4
Sulfato de manganês	6,0
Molibdato de sódio	0,16
pH	6,22
Condutividade elétrica (EC)	2,0

Antes do experimento ser instalado, foi feita a análise química dos substratos a fim de obter os nutrientes disponíveis e suas concentrações. A análise química dos substratos (Tabela 2) foi realizada de acordo com o “protocolo analítico para caracterização química de substrato para plantas” (Instrução Normativa 17, MAPA). Os macros e micronutrientes presentes nos substratos foram: N (nitrogênio), P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre), Na (sódio), B (boro), Cu (cobre), Fe (ferro), Mn (manganês) e Zn (zinco).

Tabela 2 - Análise química de macro (g kg^{-1}) e micronutrientes (mg kg^{-1}) disponíveis nos substratos

Macronutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	9,0	1,8	13,8	2,7	1,5	6,5
LBC	16,0	0,5	6,7	8,4	1,2	13,8
LCE	44,0	0,7	7,9	17,8	1,6	29,3
Micronutrientes	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
SC	9,24	0,06	0,02	0,15	0,02	0,01
LBC	9,22	0,06	0,02	0,29	0,05	0,05
LCE	10,09	0,08	0,01	0,94	0,10	0,07

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Através da análise química, também se obteve o pH e a condutividade elétrica (EC) dos substratos, apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - pH e condutividade elétrica em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos utilizados

Substratos	pH	Condutividade elétrica (<i>mS</i>)
SC	6,7	0,164 mS
LBC	6,4	0,147 mS
LCE	6,5	0,169 mS

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

As análises realizadas para mensurar a qualidade das mudas foram: altura da parte aérea (H), diâmetro de colo (DC), água retida no substrato, massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR), massa seca total (MST), Índice de cor verde (SPAD), qualidade do sistema radicular (QR) e Índice de qualidade de Dickson.

A altura foi medida com uma régua graduada, desde o coleto até a gema apical. O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro digital a partir da abertura do tubete. Todas as mudas das bandejas foram avaliadas.

Para massa seca, as dez mudas centrais das bandejas tiveram a parte aérea (folhas e caule) separada da parte radicular. A parte aérea foi diretamente

armazenada em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa em uma temperatura de 65°C até que atingissem o peso de massa constante.

Foi realizada a análise de conformação do sistema radicular, onde os sistemas radiculares das mudas foram submetidos a um teste de qualidade visual, avaliado por três pessoas, sendo classificadas com notas de 1 a 3. A nota 3 foi dada aos torrões considerados ótimos, caracterizados por torrões firmes, com boa agregação e elevada quantidade de raízes. Os torrões considerados bons, que apresentaram torrão com flexibilidade e poucas raízes, receberam nota 2. Os torrões considerados ruins, que se desfaziam com facilidade e quase não apresentavam raízes, receberam nota 1.

Em seguida, os sistemas radiculares foram lavados em água corrente, para retirada total do substrato, e então foram armazenados em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa a uma temperatura de 65°C até que atingissem o peso da massa constante. Posteriormente, parte aérea e raiz foram pesadas separadamente para caracterização da massa seca aérea e radicular.

Após as análises de massa seca, o material foi moído em moinho tipo Willey, para realização da análise química do material vegetal, de acordo com a metodologia descrita por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997), para observar a concentração de macro e micronutrientes presentes no tecido vegetal das mudas de *Peltophorum dubium*. Foram analisados os seguintes nutrientes: N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Zn e Na. Após esta análise, calculou-se as massas secas com as concentrações dos nutrientes para quantificar o acúmulo de nutrientes pelas plantas.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD) abrange os valores das principais variáveis e foi realizado em todas as mudas da bandeja. O índice é calculado por meio da fórmula descrita por Dickson et al., (1960). Quanto maior o IQD, melhor a qualidade das mudas produzidas.

Para avaliar o teor de N nas folhas de *Peltophorum dubium*, mediu-se o índice de cor verde pelo equipamento SPAD, utilizando sempre a região mediana do segundo par de folhas da planta, com uma medição por folíolo, por planta, numa média de 20 plantas por repetição, em cada tratamento. A análise foi realizada em todas as mudas da bandeja.

Para determinar a perda de água em cada substrato e a quantidade de água que o substrato reteve após as irrigações, foram colocados saquinhos plásticos presos com elásticos nos tubetes e pesou-se os tubetes antes e após a irrigação, descontando o peso da água que saiu pelo fundo do tubete e a quantidade

armazenada nos saquinhos plásticos, seguindo a metodologia descrita por Lea-Cox; Ross; Tefteau (2001).

As análises estatísticas foram realizadas no programa AGROSTAT. Primeiramente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade e depois ao teste de Análise de Variância (ANOVA) para comparar os tratamentos entre si. Quando houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade, os dados foram submetidos ao teste de Scott-Knot ($p < 0,05$) para comparação entre as médias.

1.3 RESULTADOS

Anteriormente à instalação do experimento, realizou-se a análise física a fim de caracterizar a porosidade total, macroporosidade, microporosidade e capacidade de retenção de água dos substratos utilizados neste presente trabalho. A análise física apresentada na Tabela 4 foi realizada de acordo com o método empregado por Guerrini e Trigueiro (2004).

Tabela 4 - Análise física dos substratos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT), capacidade de retenção de água (RA), pH e condutividade elétrica (EC)

Substratos	PT (%)	Macro (%)	Micro (%)	RA (ml)	pH	EC (mS ⁻¹)
SC	79,3 a	36,2 b	43,1 b	22,4 b	6,7	0,164 mS
LBC	79,2 a	41,5 a	37,7 c	19,6 c	6,4	0,147 mS
LCE	75,9 b	24,6 c	51,2 a	26,6 a	6,5	0,169 mS
CV	1,79 %	8,58 %	5,71 %	5,85 %		

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Em relação à variável altura (Tabela 5), houve interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação a nível de 5% de probabilidade. Em todas as frequências de irrigação as mudas de *Peltophorum dubium* produzidas com substrato LCE apresentaram o maior crescimento em altura, embora a média obtida pelas mudas produzidas em SC na frequência de três vezes tenha sido estatisticamente semelhante.

Em relação aos substratos, as mudas produzidas em SC apresentaram maior crescimento em altura quando submetidas às frequências de duas e três vezes ao dia,

enquanto os substratos com lodo de esgoto LBC e LCE produziram mudas com as maiores alturas quando submetidos à frequência de irrigação de duas vezes ao dia.

De acordo com Gonçalves et al. (2000), mudas de espécies nativas devem apresentar altura entre 20 a 35 cm. Com exceção das mudas produzidas com substrato LBC nas frequências de três e quatro vezes ao dia, e das mudas produzidas em SC na frequência de quatro vezes ao dia, todas as demais apresentaram altura dentro da média sugerida por estes autores.

Tabela 5 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação na altura (cm) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Frequências de irrigação		
	F2	F3	F4
SC	20,4 Ba	21,2 Aa	18,2 Bb
LBC	21,0 Ba	18,8 Bb	18,2 Bb
LCE	25,5 Aa	22,3 Ab	20,5 Ac
CV 23,6 %			

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

Para a variável diâmetro de colo (DC), apresentada na tabela 6, não houve interação entre os fatores “substratos” e “frequências de irrigação” a nível de 5% de probabilidade, porém os fatores diferiram quando analisados separadamente. As mudas produzidas com substrato LCE apresentaram os maiores diâmetros de colo.

Referente à irrigação, as frequências de irrigação de duas e três vezes ao dia proporcionaram médias superiores em relação a frequência de quatro vezes. No padrão estabelecido por Gonçalves et al. (2000), mudas nativas devem apresentar diâmetro de colo entre 5 a 10 mm para serem consideradas ótimas. Sendo assim, todos os tratamentos produziram mudas dentro do tamanho esperado.

Tabela 6 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação no diâmetro de colo (mm) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Diâmetro de Colo (mm)
SC	5,6 b
LBC	5,5 b
LCE	6,5 a
Frequências de irrigação	Diâmetro de Colo (mm)
F2	5,9 a
F3	6,0 a
F4	5,7 b
CV 13,1 %	

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

A relação H/D das mudas (Tabela 7) demonstra interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação. Na frequência de irrigação de duas vezes ao dia, o substrato LCE se destacou dos demais, produzindo mudas com a maior relação H/D.

Na frequência de três vezes ao dia, foi o SC que se destacou dos demais, enquanto a frequência de quatro vezes ao dia apresentou médias semelhantes para todos os substratos. Em relação aos substratos, o SC exibiu médias iguais entre si para todas as frequências de irrigação, já as mudas produzidas com os substratos LBC e LCE apresentaram melhor relação H/D quando submetidas a frequência de duas vezes ao dia.

Tabela 7 - Efeito dos substratos e das frequências de irrigação na relação altura/diâmetro (H/D) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após semeadura

Substratos	Frequências de irrigação		
	F2	F3	F4
SC	3,6 Ba	3,7 Aa	3,4 Aa
LBC	3,9 Ba	3,4 Bb	3,5 Ab
LCE	4,0 Aa	3,4 Bb	3,3 Ab
CV 26,1%			

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

O Índice de Cor Verde realizado pelo SPAD (Tabela 8) demonstra o teor de N (nitrogênio) nas folhas das mudas de canafístula. Para esta variável, apenas o fator substrato diferiu a nível de 5% de probabilidade, já as frequências de irrigação não influenciaram nos teores de N presente nas folhas. As mudas produzidas no substrato LCE apresentaram maior teor de N na parte aérea, enquanto os demais substratos produziram mudas com médias inferiores e semelhantes entre si.

Tabela 8 - Índice de Cor Verde (I.C.V.) para avaliação de N (nitrogênio) nas folhas de *Peltophorum dubium*, 150 dias após a semeadura

Substratos	I.C.V
SC	24,3 b
LBC	23,8 b
LCE	26,2 a
CV = 29,3%	

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Como pode ser observado na tabela 9, não houve interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação para as variáveis massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) das plantas, porém as mudas sofreram influência dos fatores quando estes foram analisados separadamente.

O substrato LCE, mais uma vez, se sobressaiu aos demais substratos, produzindo mudas com maiores quantidades de biomassa para as três variáveis: MSA, MSR e MST. Enquanto as mudas submetidas às frequências de duas e três vezes ao dia também produziram as maiores quantidades de biomassa para todas as variáveis.

Tabela 9 - Massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em gramas das mudas de *Peltophorum dubium*, 150 dias após a semeadura

Substratos	MSA	MSR	MST
SC	4,0 b	1,4 b	5,4 b
LBC	3,7 c	1,3 b	4,9 c
LCE	5,1 a	1,8 a	6,9 a
Frequências			
de irrigação	MSA	MSR	MST
F2	4,5 a	1,5 a	6,0 a
F3	4,4 a	1,6 a	6,0 a
F4	3,9 b	1,3 b	5,3 b
CV	23,3%	29,5%	22,8%

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

A qualidade do sistema radicular (Tabela 10), apresentou interação entre os fatores. Os torrões foram classificados em “ótimos” (3), “bons” (2) e “ruins” (1). Na frequência de irrigação de duas vezes ao dia, os substratos SC e LCE propiciaram a formação de torrões considerados ótimos. Na frequência de três vezes, os compostos LBC e LCE também propiciaram torrões ótimos. Já na frequência de quatro vezes ao dia, todas as médias foram semelhantes entre si. Nota-se que o substrato LCE foi o único substrato que propiciou a formação de torrões ótimos, independente das frequências de irrigação.

Tabela 10 - Qualidade das raízes das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Frequências de irrigação		
	F2	F3	F4
SC	3,0 Aa	2,6 Bb	2,9 Aa
LBC	2,7 Ba	2,8 Aa	2,7 Aa
LCE	2,9 Aa	2,9 Aa	2,9 Aa
CV 4,37%			

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

Segundo o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), apresentado na tabela 11, observa-se que não houve interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação. Como era de se esperar, as mudas produzidas com substrato LCE apresentaram a melhor qualidade dentre todos os substratos utilizados. Em relação às frequências de irrigação, as mudas com a melhor qualidade apresentada foram aquelas submetidas à frequência de três vezes ao dia.

Tabela 11 - Qualidade das mudas de *Peltophorum dubium* pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD) 150 dias após a semeadura

Substratos	IQD
SC	0,82 b
LBC	0,80 b
LCE	1,08 a
Frequências de irrigação	IQD
F2	0,89 b
F3	0,98 a
F4	0,84 b
CV 32,4 %	

Médias seguidas por letras iguais minúsculas na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

Em relação ao teor e acúmulo de nutrientes, a parte aérea das mudas (Tabela 12), produzidas em SC apresentaram maiores teores de P, K e Mg. As mudas produzidas com substrato LCE apresentaram teor elevado apenas de Ca. Quanto às frequências de irrigação, todas as médias foram semelhantes entre si, com exceção do P.

Referente ao cálculo para quantificar o acúmulo de macronutrientes absorvidos pelas mudas de *Peltophorum dubium*, a parte aérea das mudas produzidas no SC apresentaram maior acúmulo de Mg. O substrato LCE proporcionou às mudas maior acúmulo de N, Ca e S. Para os nutrientes P e K, mas médias obtidas pelo SC e pelo LCE foram semelhantes entre si.

A frequência de irrigação de duas vezes ao dia produziu mudas com maior acúmulo de K. No entanto, as frequências de duas e três vezes ao dia promoveram maior absorção de P, Ca e S quando comparadas à frequência de quatro vezes ao dia.

Tabela 12 - Teor e acúmulo de macronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

(continua)						
Teor de macronutrientes (g kg ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	21,6 a	2,1 a	11,3 a	6,4 c	2,0 a	1,9 a
LBC	20,3 a	1,5 c	9,9 b	8,2 b	1,4 b	1,7 a
LCE	20,1 a	1,6 b	9,4 b	8,8 a	1,4 b	1,8 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
F2	20,3 a	1,7 b	10,8 a	7,7 a	1,6 a	1,8 a
F3	20,2 a	1,8 a	9,9 a	7,8 a	1,6 a	1,8 a
F4	21,5 a	1,8 a	9,8 a	7,9 a	1,6 a	1,8 a
CV	11,9 %	5,8 %	8,0 %	7,9 %	9,9 %	10,9 %
Acúmulo de macronutrientes (g planta ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	86,4 b	8,6 a	45,33 a	25,7 c	8,1 a	7,5 b
LBC	74,1 c	5,4 b	36,29 b	30,0 b	5,0 c	6,3 c

Tabela 12 - Teor e acúmulo de macronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

	(conclusão)					
LCE	103,0 a	8,0 a	48,66 a	45,4 a	6,9 b	9,2 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
F2	90,7 a	7,4 a	48,4 a	34,7 a	6,8 a	8,0 a
F3	88,9 a	7,7 a	43,6 b	34,8 a	6,8 a	7,9 a
F4	84,0 a	6,9 b	38,3 c	31,4 b	6,4 a	7,1 b
CV	11,3%	8,7%	10,1%	7,8%	9,5%	10,0%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

A tabela 13 menciona o teor e o acúmulo de micronutrientes presentes na parte aérea das mudas de canafístula. O substrato LCE proporcionou às mudas maior teor de Zn na parte aérea. Adicionalmente, a parte aérea das mudas produzidas em SC e LCE apresentaram maior teor de Mn. Para os outros nutrientes não houve diferença entre as médias. A parte aérea das mudas submetidas às frequências de duas e quatro vezes ao dia, apresentaram teor elevado de B, enquanto a frequência de quatro vezes ao dia exibiu maior teor de Zn.

Quando ao acúmulo de micronutrientes, as mudas produzidas com o substrato LCE apresentaram maior acúmulo de todos os micronutrientes na parte aérea, enquanto as mudas do SC absorveram quantidades semelhantes de Cu e Fe. As frequências de irrigação também apresentaram médias semelhantes entre si, independente do nutriente analisado.

Tabela 13 - Teor e acúmulo de micronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

Teor de micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	27,8 a	3,7 a	94,3 a	59,2 a	26,6 c	220,6 a
LBC	27,0 a	3,0 a	76,2 a	47,9 b	64,0 b	208,7 a
LCE	27,7 a	3,0 a	82,9 a	57,0 a	72,3 a	208,4 a
Frequências de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
F2	27,8 a	3,7 a	89,6 a	52,9 a	49,8 b	203,7 a
F3	24,5 b	3,0 a	73,2 a	54,8 a	53,4 b	220,8 a
F4	30,1 a	3,0 a	90,6 a	56,4 a	59,8 a	213,2 a
CV	11,0 %	34,8 %	26,3 %	16,8 %	12,9 %	8,8 %
Acúmulo de micronutrientes (mg planta ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	110,9 b	14,8 a	94,2 a	236,8 b	105,9 c	908,7 b
LBC	98,7 b	11,0 b	76,2 a	174,4 c	233,8 b	767,0 c
LCE	142,3 a	15,4 a	82,9 a	292,5 a	367,9 a	1058,3 a
Frequências de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
F2	124,3 a	16,1 a	89,6 a	238,0 a	227,0 a	907,3 a
F3	108,8 a	13,2 a	73,2 a	243,7 a	238,2 a	960,8 a
F4	118,5 a	11,8 a	90,6 a	222,0 a	242,5 a	866,0 a
CV	13,7%	31,1%	26,3%	16,8%	11,4%	13,5%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

Em relação ao teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* (Tabela 14), as raízes das mudas produzidas em SC apresentaram maior teor de P, K e Mg. As raízes das mudas de canafístula produzidas no substrato LCE exibiram teores elevado de Ca. A frequência de quatro vezes ao dia proporcionou às raízes maiores teores de K, Mg e S. O acúmulo de macronutrientes

pelas raízes das mudas de canafístula produzidas com substrato LCE apresentaram maior acúmulo de quase todos os macronutrientes analisados. Apenas as raízes do SC apresentaram maior acúmulo de Mg. As raízes submetidas à frequência de irrigação de três vezes ao dia promoveram acúmulo superior em N, enquanto as raízes submetidas às frequências de duas e três vezes se destacaram no acúmulo de P.

Tabela 14 - Teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

Teor de macronutrientes (g kg ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	12,9 a	1,8 a	10,3 a	3,2 c	2,6 a	2,5 a
LBC	13,3 a	1,3 c	9,0 b	3,9 b	2,0 b	2,5 a
LCE	13,4 a	1,5 b	8,3 b	4,5 a	1,6 c	2,5 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
F2	13,3 a	1,5 a	9,2 b	3,9 a	2,0 b	2,4 b
F3	13,5 a	1,5 a	8,1 c	3,7 a	2,0 b	2,4 b
F4	12,9 a	1,6 a	10,4 a	4,0 a	2,3 a	2,7 a
CV	9,3 %	9,8 %	9,3 %	10,9 %	11,8 %	12,3 %
Acúmulo de macronutrientes (g planta ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	23,8 b	2,37 b	13,88 a	4,28 c	3,49 a	3,4 b
LBC	17,3 b	1,65 c	11,65 b	5,09 b	2,63 b	3,2 b
LCE	23,8 a	2,66 a	14,62 a	7,89 a	2,82 b	4,3 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
F2	19,7 b	2,2 a	13,6 a	5,9 a	2,9 a	3,9 a
F3	21,8 a	2,4 a	12,9 a	6,0 a	3,0 a	3,9 a
F4	17,0 c	2,0 b	13,6 a	5,4 a	2,9 a	3,5 a
CV	10,0%	13,7%	13,3%	12,0%	14,8%	15,4%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

O teor e acúmulo de micronutrientes encontrado no sistema radicular das mudas de canafístula, descritos na tabela 15, demonstra que as mudas produzidas no substrato LCE apresentaram maior teor de Cu, Fe e Na. No entanto, ambos com os compostos com lodo apresentaram proporcionaram maior teor de Zn às raízes. As raízes submetidas à frequência de irrigação de três vezes ao dia apresentaram maior teor de B e Cu, enquanto a frequência de quatro vezes produziu raízes com maior teor de Na. O sistema radicular das mudas produzidas em substrato LCE apresentaram maior acúmulo de todos os micronutrientes em comparação aos outros substratos utilizados. Na frequência de três vezes ao dia, as raízes acumularam as maiores quantidades de todos os nutrientes, com exceção de Na, onde todas as médias foram semelhantes entre si.

Tabela 15 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

(continua)						
Teor de micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	49,1 a	4,2 c	225,0 c	33,6 a	19,3 b	570,3 b
LBC	48,2 a	6,8 b	1544,3 b	34,6 a	98,2 a	576,9 b
LCE	44,3 a	7,9 a	3089,6 a	31,4 a	102,7 a	696,6 a
Frequências de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
F2	42,5 b	6,1 b	1567,7 a	33,0 a	67,6 a	566,5 b
F3	56,8 a	7,0 a	2138,9 a	35,4 a	77,0 a	584,5 b
F4	42,2 b	5,8 b	1152,3 a	31,2 a	75,6 a	692,8 a
CV	16,0 %	19,9 %	61,4 %	16,9 %	21,7 %	13,6 %
Acúmulo de micronutrientes (mg planta ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	66,2 b	5,6 c	306,1 c	45,3 b	26,0 c	778,4 b
LBC	63,9 b	8,8 b	2000,9 b	44,8 b	128,2 b	751,5 b
LCE	79,6 a	14,3 a	5713,5 a	56,3 a	182,3 a	1216,5 a

Tabela 15 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

Frequências de irrigação	(conclusão)					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
F2	63,96 b	9,21 b	2423,0 b	48,8 b	102,2 b	861,7 a
F3	90,80 a	11,81 a	3929,0 a	57,5 a	130,0 a	946,6 a
F4	55,02 b	7,67 b	1668,4 b	40,1 c	104,4 b	938,1 a
CV	19,8%	25,0%	67,2%	18,4%	26,0%	18,9%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

A massa seca total abrange a massa seca aérea e a massa seca radicular. Como não é possível quantificar o teor de nutrientes, esta variável demonstra apenas o acúmulo de nutrientes pelas mudas como um todo (Tabela 16). As mudas produzidas no SC se sobressaíram no acúmulo de Mg. Adicionalmente, as mudas submetidas ao SC e ao LCE apresentaram maior acúmulo P e K. As mudas produzidas com substrato LCE, por sua vez, apresentaram maior acúmulo de N, Ca e S. Quanto as frequências de irrigação, as mudas submetidas às frequências de duas e três vezes ao dia se destacaram no acúmulo de N, P e Ca.

Referente ao acúmulo de micronutrientes pela massa seca total, o substrato LCE proporcionou às mudas, maior acúmulo de todos os micronutrientes. A frequência de três vezes ao dia conferiu às mudas maior acúmulo de B e Fe, enquanto as frequências de duas e três vezes ao dia obtiveram médias superiores para Cu e Mn, quando comparadas à frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

Tabela 16 - Acúmulo de macronutrientes na massa seca total das mudas de *Peltophorum dubium* em função dos substratos e da frequência de irrigação, 150 dias após a semeadura

Acúmulo de macronutrientes (g planta⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	184,4 b	21,0 a	115,7 a	51,3 c	24,7 a	23,7 b
LBC	166,5 c	13,5 b	93,6 b	59,7 b	16,9 c	20,7 c
LCE	231,5 a	21,3 a	122,5 a	92,0 a	20,3 b	29,3 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
F2	200,0 a	18,9 a	118,8 a	69,9 a	20,9 a	24,7 a
F3	202,9 a	19,4 a	107,7 b	69,9 a	20,8 a	25,3 a
F4	179,5 b	17,4 b	105,1 b	63,3 b	20,2 a	23,6 a
CV	8,3%	7,9%	7,7%	7,9%	8,1%	9,6%
Acúmulo de micronutrientes (mg planta⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	264,8 b	42,2 b	1694,8 c	496,4 b	245,0 c	4305,4 b
LBC	241,2 b	48,4 b	7999,6 b	408,4 c	805,8 b	3900,5 b
LCE	309,5 a	76,0 a	22277,5 a	612,1 a	1202,8 a	6186,3 a
Frequências de irrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
F2	254,9 b	58,6 a	10280,7 b	512,0 a	714,0 a	4663,2 a
F3	341,1 a	61,9 a	14797,4 a	548,2 a	803,6 a	4849,7 a
F4	219,5 b	46,1 b	6893,8 b	456,5 b	735,9 a	4879,2 a
CV	19,0%	19,4%	61,8%	13,3%	16,0%	14,2%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4: frequência de irrigação de quatro vezes ao dia.

A quantidade de água retida nos substratos e a perda de água por lixiviação (Tabela 17), podem ser analisadas conjuntamente com os dados da análise física dos substratos. Em relação a água retida no substrato, as frequências de duas e três vezes ao dia apresentaram médias semelhantes entre si, enquanto na frequência de quatro vezes ao dia, os substratos com lodo de esgoto (LBC e LCE) retiveram maior

quantidade de água do que o SC. Todos substratos conseguiram reter mais água na frequência de duas vezes ao dia, uma vez que esta frequência possuía maior duração. Já a quantidade de água perdida por lixiviação diferiu apenas para a frequência de irrigação de duas vezes ao dia, onde o substrato LBC apresentou a maior perda de água e o substrato LCE a menor perda. As demais frequências de irrigação apresentaram médias semelhantes entre si. A perda de água na frequência de duas vezes ao dia foi maior do que as outras frequências independentemente do substrato.

Tabela 17 – Retenção de água dos substratos e perda de água por lixiviação

Água retida no substrato (g)	Frequências de irrigação		
Substratos	F2	F3	F4
SC	5,8 Aa	3,3 Ab	2,7 Bb
LBC	5,1 Aa	3,7 Ab	3,7 Ab
LCE	6,4 Aa	3,0 Ac	4,2 Ab
CV 17,3 %			
Perda de água por lixiviação (g)	Frequências de irrigação		
Substratos	F2	F3	F4
SC	6,0 Ba	3,6 Ab	3,3 Ab
LBC	7,2 Aa	4,0 Ab	3,9 Ab
LCE	3,7 Ca	4,1 Aa	4,3 Aa
CV 30,3 %			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. F2: frequência de irrigação de duas vezes ao dia; F3: frequência de irrigação de três vezes ao dia; F4:

1.4 DISCUSSÃO

Para a maioria das variáveis analisadas, o SC e o substrato LCE apresentaram as maiores médias em comparação ao substrato LBC, mesmo este também contendo lodo de esgoto em sua composição, enquanto as frequências de irrigação de duas e três vezes ao dia se sobressaíram em relação à frequência de quatro vezes ao dia.

De acordo com o padrão estabelecido por Gonçalves e Poggiani (1996), o substrato LCE foi o único substrato que se enquadrou dentro da faixa ideal de microporosidade (45% a 55%), enquanto o substrato comercial (SC) e o lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) se enquadraram dentro da faixa ideal de macroporosidade (35% a 45%). A porosidade dos substratos está diretamente

relacionada com sua densidade, refletindo na sua capacidade de retenção de água, quantidade de macro e micronutrientes, água disponível e condutividade elétrica (ABREU et al., 2017).

Substratos que contenham lodo de esgoto em sua composição costumam ser mais densos (KRATZ et al., 2013). Porém, o substrato LBC apresentou as menores médias, possivelmente devido a sua característica física. As fibras de bagaço-de-cana tornaram este material poroso, não sendo capaz de reter água e nutrientes na quantidade que as mudas de *Peltophorum dubium* demandavam. Por apresentar estas características, este substrato também não propiciou às mudas torrões considerados ótimos. Dessa forma, este substrato não é recomendado para produção de mudas de canafístula.

O SC, por sua vez, é um material inerte, que apresenta baixo teor de nutrientes, característica comum a substratos comerciais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004). Entretanto, ele é produzido especificamente para proporcionar torrões firmes e absorver a quantidade de água e nutrientes na proporção ideal.

De maneira geral, o substrato LCE foi o melhor substrato em comparação aos demais, pois as mudas de canafístula produzidas neste substrato apresentaram as maiores médias para todas as variáveis analisadas. Ao longo da compostagem, os fragmentos de casca de eucalipto se decomuseram, formando partículas finas, tornando este material mais denso em relação aos demais. Essa densidade fez com que este substrato apresentasse elevada retenção de água e de nutrientes, além de propiciar às mudas torrões firmes e bem agregados.

Em relação as análises químicas dos substratos, observa-se que o SC apresentou baixas concentrações de nutrientes, uma característica comum a substratos comerciais (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004). Contudo, este substrato apresentou as maiores concentrações de P e de K. Isto pode ser explicado pelo fato de que, o lote do substrato comercial utilizado neste experimento foi enriquecido com superfosfato simples ainda em seu processo de produção. Além disso, o substrato comercial continha casca de arroz em sua composição, material rico em K.

O lodo de esgoto, por sua vez, é constituído de 99,9% de água e apenas 0,01% de parte sólida, e como o K é um elemento solúvel, se encontra diluído na parte líquida (BERTON et al., 2010). Dessa forma, o lodo de esgoto se torna um resíduo com baixo teor deste nutriente. É possível, portanto, entender porque os compostos com lodo de

esgoto não se sobressaíram no aporte de P e K em relação ao substrato comercial (SC).

Referente à altura, diâmetro de colo e relação altura/diâmetro (H/D), o substrato LCE submetido às frequências de duas e três vezes ao dia produziu as mudas com as maiores médias. Cabreira et al. (2017) observaram que mudas de três espécies nativas da Floresta Atlântica (*Peltophorum dubim*, *Lafoensia pacari* e *Ceiba speciosa*) produzidas em composto de lodo de esgoto com casca de pinus, também apresentaram maior crescimento em altura conforme se aumentou a proporção volumétrica de lodo de esgoto no substrato. Os autores ainda afirmam que as mudas produzidas em lodo de esgoto compostado atingem o período de rustificação mais rapidamente em comparação às mudas produzidas em substrato comercial.

A análise de diâmetro de colo é considerada como uma das variáveis mais importantes para se avaliar a qualidade da muda. As mudas produzidas com o composto LCE apresentaram os maiores diâmetros de colo, que está diretamente relacionado com a qualidade do sistema radicular, garantindo às mudas maior capacidade de se estabelecer em campo, conforme proposto por Cargnelutti Filho et al. (2012). Scheer et al. (2012) constataram que as mudas de *Lafoensia pacari* apresentaram maiores diâmetros de colo quando produzidas em lodo de esgoto compostado com podas de árvore nas proporções 3:1 e 2:1, em comparação ao substrato comercial utilizado como testemunha.

A relação H/D expressa o equilíbrio de crescimento da planta, pois relaciona as duas variáveis em apenas uma (CARNEIRO, 1995). De acordo com CRUZ et al. (2011), o valor da relação H/D deve ser menor que 10. Desta forma, todos os tratamentos produziram mudas com os valores dentro da média sugerida pelos autores.

Embora ambos os compostos utilizados neste estudo tenham a mesma proporção de lodo de esgoto em sua composição, o substrato LCE apresentou resultados superiores em relação ao LBC. Possivelmente isto ocorreu porque o bagaço-de-cana é um material de baixo valor nutritivo (PIRES et al., 2004) e isto se refletiu em suas características químicas, além disso, as fibras do bagaço-de-cana também influenciaram nas características físicas, tornando o composto mais poroso. A casca de eucalipto, por sua vez, apresenta teores de Ca, K, Mg, Na, Mn e Fe (ANDRADE et al., 2011), e também apresentou características físicas e químicas mais

adequadas. A casca de eucalipto decomposta gerou partículas finas, refletindo em um substrato adequado para produção de mudas de *Peltophorum dubium*.

A análise de Índice de cor verde realizada, demonstrou que as mudas de *Peltophorum dubium* produzidas em lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE) apresentaram maior concentração de N em suas folhas, em comparação às mudas produzidas nos demais substratos. Durante o processo de crescimento das plantas, o N se desloca para as folhas mais jovens, pois é um elemento com alta mobilidade, portanto, plantas com maior crescimento em altura podem apresentar baixo teor de N, já que o mesmo foi utilizado para seu crescimento (SENA JÚNIOR et al., 2008), causando “efeito de diluição”. Contudo, neste caso, as mudas produzidas com substrato LCE, além de apresentarem maior crescimento em altura, também apresentaram a maior concentração de N em suas folhas.

Trigueiro e Guerrini (2014) constataram que as mudas de *Schinus terebinthifolius* apresentaram maior crescimento em altura quando produzidas em lodo de esgoto compostado com casca de arroz carbonizada em relação ao substrato comercial. Os autores atribuíram o crescimento à quantidade de nitrogênio disponível no lodo, ao contrário dos substratos comerciais que costumam apresentar baixo teor de nutrientes.

Referente à massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST), as mudas produzidas com LCE apresentaram maior produção de biomassa para as três variáveis, seguido pelo SC, e por último, o LBC, cujas mudas produzidas neste substrato, apresentaram a menor produção de biomassa. Quanto maior a quantidade de biomassa na parte aérea, maior é o potencial fotossintético, garantindo às mudas um melhor desenvolvimento (GROSSNICKLE, 2005).

A massa seca radicular tem sido considerada por vários autores como uma das variáveis mais eficientes para determinação da qualidade das mudas (GOMES et al., 2002), já que um sistema radicular bem formado garante às mudas maior sobrevivência em campo e resistência à mato-competição, além de maior absorção de água e de nutrientes (ALMEIDA et al., 2005). Isto pôde ser observado nas raízes das mudas produzidas com substrato LCE, que apresentaram as maiores médias para massa seca radicular. Além disso, raízes bem desenvolvidas e agregadas ao substrato facilitam a retirada do torrão do tubete, preservando sua forma para um melhor plantio em campo (WENDLING; GUASTALA; DEDECEK, 2007).

Os resultados obtidos neste presente estudo podem ser comparados com os dados obtidos por Cabreira et al. (2017), onde os autores constataram que as mudas de três espécies nativas: *Peltophorobium dubim* (Springer.) Taub. (Farinha seca), *Lafoensia pacari* A. St.-Hil. (Dedaleiro) e *Ceiba speciosa* (A. St.-Hil.) Ravenna (Paineira) apresentaram médias superiores para as variáveis massa seca aérea, massa seca radicular e massa seca total quando produzidas em lodo de esgoto compostado com solo argiloso e areia, em comparação ao substrato testemunha.

O Índice de Qualidade de Dickson é um importante indicador de qualidade da planta, pois abrange as principais variáveis: altura, diâmetro de colo e massa seca. Segundo Fonseca et al. (2002), quanto maior o valor do IQD, melhor será a qualidade da muda. Portanto, para esta variável, as mudas produzidas com LCE submetidas à frequência de irrigação de três vezes ao dia apresentaram a melhor qualidade em comparação aos outros tratamentos, pois apresentaram o maior valor de IQD.

A análise química das plantas pode ser relacionada com a análise química dos substratos para alguns nutrientes. A alta quantidade de P e K encontrados no SC também foi encontrada na parte aérea e radicular das mudas de *Peltophorum dubium* produzidas neste substrato. Adicionalmente, na análise química das plantas, as mudas produzidas no SC também apresentaram maior teor e acúmulo de Mg. Venturin et al. (1999) e Cruz et al. (2011) destacam a importância do P na produção de mudas de canafístula. Segundo os autores, este nutriente é essencial para o crescimento das mudas. Cruz et al. (2011) ainda afirmam que o K também é um nutriente exigido em grandes quantidades por esta espécie.

O substrato LCE, por sua vez, apresentou maiores teores de N, Ca, Mg e S. Isto se refletiu na análise química das plantas. A parte aérea e radicular das mudas produzidas neste substrato se sobressaíram apenas no teor de Ca. Porém, apresentaram maior acúmulo de N, P, K, Ca e S, mostrando que estes nutrientes foram melhor aproveitados pelas mudas quando produzidas neste substrato. Estes valores estão relacionados também com a produção de massa seca. O substrato LCE apresentou a maior concentração de nutrientes na análise química dos substratos, proporcionando às mudas maiores teores e acúmulos de nutrientes, o que resultou em uma maior produção de biomassa da parte aérea e radicular.

Venturin et al. (1999), testando omissão de nutrientes na produção de mudas de *Peltophorum dubium*, constataram que a falta de N, P, S e Ca afetaram o

crescimento em altura e em diâmetro das mudas, sendo que o diâmetro também foi afetado na falta de K.

As médias obtidas com a variável água retida nos substratos após irrigação foram semelhantes entre si, com exceção do SC na frequência de quatro vezes ao dia. Segundo Trigueiro e Guerrini (2004), o biossólido, por apresentar maior densidade devido à sua alta porcentagem em microporosidade, se sobressaiu na capacidade de retenção de água em comparação ao substrato comercial. O substrato comercial utilizado neste trabalho contém casca de arroz e vermiculita em sua composição, materiais leves e inertes à hidratação, levando ao aumento da porosidade do substrato, o que reflete diretamente em sua menor capacidade de retenção de água.

A variável perda de água por lixiviação está relacionada com a variável descrita acima, podendo ser analisada conjuntamente com os dados da análise física dos substratos. O substrato LCE, por apresentar maior densidade, devido à sua porcentagem em microporosidade (51,2%) foi o substrato que apresentou a menor perda de água, pois possuía a maior capacidade de retenção (26,6%) em comparação aos outros substratos. Entretanto, o substrato LBC apresentou a maior perda de água, devido à alta porcentagem em macroporosidade (41,5%) e sua baixa capacidade de retenção de água (19,6%). Já em relação às frequências de irrigação, podemos observar que os resultados obtidos se assemelham aos dados encontrados por Delgado (2012). O autor, testando frequências de irrigação para a produção de *Peltophorum dubium*, observou que a maior frequência de irrigação (duas vezes ao dia), proporcionou a maior perda de água, uma vez que seu tempo de duração era maior do que as outras irrigações, fazendo com que a água penetrasse por todo o substrato, chegando ao fundo do tubete. Já nas demais frequências, a perda de água foi menor, pois a duração da irrigação também era de menor duração, fazendo com que a água se restringisse à superfície do tubete.

Delgado (2012) ainda constatou que, independentemente da lâmina utilizada, a frequência de duas vezes ao dia produziu mudas com maior crescimento em altura, diâmetro de colo, relação H/D e massa seca, assim como também foi observado neste presente estudo. Ainda de acordo com o autor, a frequência de irrigação de duas vezes ao dia, por possuir maior duração, conseguiu atingir os níveis mais profundos do tubete, irrigando todo o sistema radicular, fornecendo maior quantidade de água para as mudas.

Como não houve diferença entre as proporções volumétricas de lodo de esgoto e material estruturante, adotou-se a proporção 1:1, com a finalidade de se utilizar a maior quantidade de lodo possível, dando um fim ao resíduo.

O composto de lodo de esgoto com casca de eucalipto (LCE) submetido à lâmina de 12 milímetros, nas frequências de irrigação de duas e três vezes ao dia demonstrou ser o substrato mais viável para a produção de mudas de *Peltophorum dubium*, beneficiando a maioria das variáveis morfológicas e nutricionais analisadas.

O composto de lodo de esgoto com bagaço-de-cana, independentemente da frequência de irrigação, promoveu as piores médias para a maioria das variáveis, não sendo recomendado para produção de mudas de *Peltophorum dubium*.

1.5 CONCLUSÃO

O substrato LCE associado às frequências de irrigação de duas e três vezes resultou na produção de mudas de *Peltophorum dubium* com maior qualidade de acordo com o Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

Desta forma, recomenda-se o uso do composto de lodo de esgoto com casca de eucalipto (LCE) na proporção 1:1 associado as frequências de duas ou três vezes ao dia, para produção de mudas de *Peltophorum dubium*, do ponto de vista sustentável e ambiental.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com biossólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n.4, 2017.

ALMEIDA, S. L.; MAIA, N.; ORTEGA, A. R.; ANGELO, A. C. Crescimento de mudas de *Jacaranda puberula* Cham. em viveiro submetidas a diferentes níveis de luminosidade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 3, p. 323-329, 2005.

ANDRADE, M. C.; MINHONI M. T. A.; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C.; SALES-CAMPOS, C. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 183-192, 2011.

BEESON JÚNIOR., R. C. Modelling actual evapotranspiration of *Ligustrum japonicum* from rooted cuttings to commercially marketable plants in 12 liters black polyethylene containers. **Acta Horticulturae**, v. 664, p. 71-77, 2004.

BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 67-76, 2015.

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. (Orgs). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de Esgoto. Impactos Ambientais na Agricultura**. Edição: 1. Embrapa Meio Ambiente Jaguariúna/SP, p. 17-44, 2006.

BIANCHI, C. A. M. Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e convencional. 2004. 109f. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2004.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BRIGGS, J.; WHITWELL, T.; RILEY, M. B.; LEE, T. Cyclic irrigation and grass waterways combine to reduce isoxaben losses from container plant nurseries. **Journal of Environmental Horticulture**, Clemson, v. 16, n. 4, p. 235-238, 1998.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 165 - 176, 2017.

CARGNELUTTI, A.F.; ARAÚJO, M.M.; GASPARIN, E.; AVILA, A.L. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de *Cabralea canjerana*. **Ciência Rural**, Santa Maria, n.7, p.1204-1211, 2012.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Folha de Viçosa, 1995. 451 p.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica, Canafístula. **EMBRAPA, 2002**. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/306466/1/CT0064.pdf>> Acesso em: 07/02/2018.

CASTRO, A. L. F. G.; SILVA, O. R.; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, Urutá, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J. C. L. Macronutrients in production of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. seedlings in red yellow ultisol of the zona da mata, MG region. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n.3, 2011.

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

DELGADO, L. G. M. **Qualidade morfológica de mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. sob diferentes manejos hídricos**. 2012. 96f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

FARIA, M. F.; GUERRINI, I. A.; OLIVEIRA, F. C.; SATO, M. I. Z.; HACHICH, E. M.; PASSOS, J. R. S.; GOULART, L. M. L.; SILVA, T. T. S.; GAVA, J. L.; FURCHES, J. C.; JAMES, J.; HARRISON, R. B. Persistence of *Ascaris* spp. ova in tropical soil cultivated with Eucalyptus and fertilized with municipal biosolids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 46, n. 3, p. 522-527, 2017.

FONSECA, É. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETTO, S. P. de; MANARA, M. P.; STAPE, José Luiz. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: *Nutrição e fertilização florestal* [S.l.: s.n.], 2000.

GROSSNICKLE, S. C. The importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 273-294, 2005.

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

JOO, S. H.; MONACO, F. D.; ANTMANN, E.; CHORATH, P. Sustainable approaches for minimizing biosolids production and maximizing reuse options in sludge management: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 158, p. 133-145, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A.C.; SOUZA, V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

LEA-COX, J. D.; ROSS, D. S.; TEFFEAU, K. M. A water and nutrient management planning process for container nursery and greenhouse production systems in Maryland. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 19, n. 4, p. 226-229, 2001.

LOPES, J. L. W; GUERRINI, I. A.; SAAD, J. C. C. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, 2008.

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

MANGIAFICO, S. S.; ZURAWSKI, D.; MOCHIZUKI, M. J.; NEWMAN, J. P. Adoption of sustainable practices to protect and conserve water resources in container nurseries with greenhouse facilities. **Acta Horticulturae**, Belgium, v. 797, p. 367-372, 2008.

MONTAGUE, T.; KJELGREN, R. Use of thermal dissipation probes to estimate water loss of containerized landscape trees. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 24, n. 2, p. 95-104, 2006.

OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Avaliação de métodos para quebra da dormência e para a desinfestação de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 597-603, 2003.

OLIVEIRA, C. D. C.; GONZAGA, L. M.; CARVALHO, J. A.; MELO, L. A.; DAVIDE, A. C.; BOTELHO, S. A. Riqueza de mudas de espécies florestais nativas potencialmente produzidas na Bacia do Rio Grande, MG. **Pesquisa florestal brasileira**, Colombo, v. 37, n. 90, p. 159-170, 2017.

PIRES, A. J. V.; GARCIA, R.; VALADARES FILHO, S. C.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; SILVA, F. F.; SILVA, P. A.; ITAVO, L. C. V. Degradabilidade do bagaço de cana-de-açúcar tratado com amônia anidra e, ou, sulfeto de sódio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 33, p. 1071-1077, 2004.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura e sapd e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, L. C.; ZOCOLER, J. L. Avaliação técnica e de custos do uso de injetor tipo venturi associado à bomba centrífuga versus bomba do tipo pistão na quimigação via pivô central. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 4, p. 799-810, 2015.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; BRESSAN, O. A.; SANTOS, K. G. Crescimento e Nutrição de Mudas de *Lafoensia pacari* com Lodo de Esgoto. **Floram**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 55-65, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010. 918 p.

TATAGIBA, S. D.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 745-754, 2015.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, v.31, n. 64, p. 150-162, 2003.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. atributos físicos e químicos de substratos Compostos por biossólidos e casca de Arroz carbonizada. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p. 1069-1076, 2004.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. Utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; NETO, D. D.; OLIVEIRA, R. F.; PERES, L. E. P.; MARTIN, T. N.; MANFRON, P. A.; BONNECARRÈRE, R. A. G. Relações entre o potencial e a temperatura da folha de plantas de milho e sorgo submetidas a estresse hídrico. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, n. 4, p. 555-561, 2007.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil; 2002. 145 p.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n.2, p. 209-220, 2007.

WILSON, B. C.; JACOBS, D. F. Quality assessment of temperate zone deciduous hardwood seedlings. **New Forests**, v. 31, n. 3, p. 417-433, 2006.

CAPÍTULO 2
COMPOSTO DE LODO DE ESGOTO COMO SUBSTRATO PARA PRODUÇÃO DE
MUDAS DE *Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert ASSOCIADO A DOSES
CRESCENTES DE FERTIRRIGAÇÃO

Autores: Laura Oliveira Cleto da Silva, Aline Cássia da Fonseca, Magali Ribeiro da Silva, Caroline de Moura D'Andréa Mateus, Iraê Amaral Guerrini

RESUMO

O lodo de esgoto puro é rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes essenciais às plantas. Porém, quando compostado, o teor de nutrientes sofre diluição, podendo ser necessário a complementação com fertilizantes químicos. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho do lodo de esgoto compostado no desenvolvimento das mudas de *Peltophorum dubium* com e sem adubação química. O experimento foi realizado em esquema Fatorial 4x3 inteiramente casualizado, sendo quatro doses de fertirrigação: zero, padrão, duplicada e quadruplicada e três substratos: substrato comercial utilizado como testemunha, composto de lodo de esgoto com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE). Para avaliar o desenvolvimento das mudas, realizou-se as seguintes análises: altura (H), diâmetro de colo (DC), relação H/D, massa seca aérea e radicular, Índice de cor verde, Índice de Qualidade de Dickson (IQD), perda de água por lixiviação, água retida no substrato, teor e acúmulo de nutrientes no tecido vegetal. As mudas produzidas no composto de lodo de esgoto com casca de eucalipto (LCE) submetidas a dose padrão e a dose quadruplicada apresentaram as maiores médias para a maioria das variáveis analisadas, sendo necessário, portanto, o uso de fertirrigação.

Palavras-chave: Nutrição mineral, adubação, viveiro, canafístula, biossólido.

ABSTRACT

Pure sewage sludge has high concentrations of organic matter, macro and micronutrients that are essential to plants. When composted with other compounds, part of the nutrients may be diluted and the use fertilizers is necessary. The objective of this study was evaluate if sewage sludge with and without chemical fertilizers would be sufficient for the initial development of seedlings of the *Peltophorum dubium* species in forest nursery. This study was completely randomized in a 4x3 factorial with four dosage of fertirrigation: zero, control, duplicated and quadruplicated. Additionally, three substrates were used: commercial (control), sewage sludge composted with sugarcane bagasse (LBC) and sewage sludge composted with eucalyptus bark (LCE). The evaluated parameters were: plant height, stem diameter ratio, shoot/root ratio, leaf dry mass, root dry mass, total dry mass, green color index, Dickson quality index (IQD), water loss through leaching, substrate water retain capacity and nutritional content and accumulation of the plant tissue. The seedlings produced with sewage sludge composted with eucalyptus bark, with fertirrigation applied two time a week showed the best results, compared with other variables.

Keywords: Mineral nutrition, compost, forest nursery, canafístula, biosolid.

2.1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETEs) geram ao final do processo de tratamento um resíduo denominado lodo de esgoto. Com o aumento da produção deste e de outros resíduos poluentes, devido ao crescimento populacional em regiões urbanas, faz-se necessário encontrar formas de reaproveita-los de forma sustentável.

Por possuir altas concentrações de nutrientes e elevado conteúdo de água e matéria orgânica, o lodo de esgoto apresenta características desejáveis para ser usado como substrato ou fertilizante orgânico na produção de mudas florestais, atuando diretamente no desenvolvimento da planta e contribuindo com o aumento da produtividade (BARONE; SILVA; FERRAZ, 2018).

Embora seus teores de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados variem em função dos hábitos alimentares da população, formas de tratamento e sazonalidades (NÓBREGA et al., 2007), mudas florestais produzidas com lodo de

esgoto puro costumam apresentar ótimo desenvolvimento, já que o resíduo é rico em matéria orgânica, macro e micronutrientes essenciais às plantas.

Quando compostado, os teores destes nutrientes acabam se diluindo, podendo não ser suficiente para o arranque inicial das mudas. Porém, é a única maneira de se utilizar o lodo de esgoto no Brasil, especialmente nos estados de São Paulo e Paraná, já que a resolução CONAMA Nº 375/2006 proíbe seu uso *in natura* devido aos metais pesados e aos patógenos nocivos à saúde humana que este resíduo pode conter (PEPPER; BROOKS; GERBA, 2006; SNIS, 2014).

Devidamente compostado com materiais estruturantes e desinfetado através das altas temperaturas que ocorrem no processo de compostagem, o lodo de esgoto torna-se viável dentro das normas da resolução para ser utilizado na área agrícola e florestal (SCHEER; CARNEIRO; SANTOS, 2010), tanto na produção de mudas como em condições de campo. Contudo, quando compostado, o lodo costuma apresentar diluição em sua concentração de nutrientes, podendo ser necessário a complementação com adubação química.

Uma nutrição adequada é um dos principais parâmetros para se produzir mudas de qualidade. A nutrição mineral das mudas influencia no tempo de produção, na qualidade e no custo das mesmas. A planta necessita de nutrição adequada para que possa atingir todo seu potencial de desenvolvimento (OLIVEIRA et al., 2013; MOROZESK, 2014).

Em relação aos substratos comerciais, o lodo de esgoto, mesmo compostado, tende a apresentar maiores quantidades de N (nitrogênio), P (fósforo), Ca (cálcio), Mg (magnésio), S (enxofre), Fe (ferro), Zn (zinco), Cu (cobre) e matéria orgânica (BEZERRA et al., 2006; SANTOS et al., 2014). Espécies florestais costumam apresentar bom desempenho quando cultivadas em substrato a base de lodo de esgoto, pois o resíduo é rico em matéria orgânica assim como os solos florestais (CABREIRA et al., 2017).

Antigamente desprezada, a espécie *Peltophorum dubium*, popularmente conhecida por canafístula, agora é considerada uma espécie nativa de alto valor econômico e comercial. Sua madeira possui alta qualidade, considerada moderadamente pesada, rígida e de longa durabilidade, sendo maiormente empregada em construções civis, decorações e paisagismo, produção de energia, papel e celulose, entre outros (ECKERT et al., 2015). Também vem sendo muito

utilizada em programas de reflorestamentos de áreas degradadas, por ser uma espécie nativa de rápido crescimento e rusticidade (CRUZ et al., 2011).

Essa espécie ocorre naturalmente em vários tipos de solos, porém demonstra preferência por solos de alta fertilidade química, bem drenados e com textura argilosa. Não costuma se adaptar a solos rasos, pedregosos ou demasiadamente úmidos (GUERRA et al., 1982).

Apesar da canafístula ser considerada uma espécie com grande potencial silvicultural, ainda faltam informações sobre suas exigências nutricionais e como isso afeta seu desenvolvimento. Este conhecimento é fundamental para que o manejo seja realizado de maneira eficiente (CRUZ et al., 2011).

Nossa hipótese é que as mudas de *Peltophorum dubium* produzidas nos compostos com lodo de esgoto e no substrato comercial vão se desenvolvam da mesma maneira, sem a necessidade da adubação química, já que o lodo de esgoto é um resíduo rico em macro e micronutrientes.

O objetivo deste estudo foi avaliar se os compostos com lodo de esgoto fornecem quantidades suficientes de nutrientes para o desenvolvimento das mudas de *Peltophorum dubium*, ou se é necessário complementar os compostos com adubação química através da fertirrigação.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido em parceria com o projeto “Compostagem do Lodo de Esgoto: Avaliação do Processo, do Produto Gerado e dos Custos” (Programa Parceria Para Inovação Tecnológica-PITE FAPESP-SABESP, Processo 2013/50413-0), e foi desenvolvido na Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) – Unesp, Campus Botucatu-SP, no Viveiro de Pesquisa em Produção de Mudas Florestais, localizado no Departamento de Ciência Florestal, onde o clima é classificado como temperado quente pelo método de classificação internacional de Koppen (CUNHA e MARTINS, 2009).

O experimento foi desenvolvido em esquema fatorial 4x3, inteiramente casualizado, totalizando 12 tratamentos, sendo quatro doses de fertirrigação e três substratos. As doses foram constituídas por: dose zero (zero): onde as mudas não receberam adubação em nenhum momento do experimento; dose padrão (1x): dose padrão utilizada pelos viveiros comerciais; dose duplicada (2x): onde pesou-se o dobro da quantidade de fertilizantes utilizados na dose padrão; e dose quadruplicada

(4x): onde pesou-se quatro vezes a quantidade de fertilizantes utilizados na dose padrão. Os três substratos foram: substrato comercial (SC) utilizado para controle, lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE).

Fixou-se uma lâmina de 12 milímetros e uma frequência de irrigação de duas vezes ao dia. Em cada tratamento haviam nove bandejas, sendo três bandejas por substrato, totalizando 3 repetições por substrato. Cada bandeja continha 20 mudas, totalizando 60 mudas por substrato e 240 mudas por canteiro e 720 mudas no total do experimento.

A fertirrigação foi aplicada duas vezes por semana, sempre às terças e sextas-feiras, entre 16h e 16:30h, através do sistema Venturi, cujo sistema é fechado e de baixa pressão, e foi realizado manualmente. A formulação da fertirrigação (Quadro 3) é a mesma utilizada pelos viveiros comerciais, por isto foi denominada “padrão”, e foi realizada com base na metodologia de Silva e Silva (2015).

Quadro 3 - Formulação padrão da fertirrigação utilizada em viveiros florestais

Fertilizantes	Concentração (gramas/tambor 64 litros)
Nitrato de Cálcio	1447,9
MAP (Fosfato Monoamônico)	349,4
Cloreto de Potássio	782,1
Sulfato de Amônio	183,0
Uréia	898,5
Sulfato de magnésio	865,3
Ferro 13%	49,9
Solução de micronutrientes**	832,0
Solução de micronutrientes	Quantidade (g/litro)
Ácido bórico	6,0
Sulfato de cobre	0,6
Sulfato de zinco	1,4
Sulfato de manganês	6,0
Molibdato de sódio	0,16
pH	6,22
Condutividade elétrica (EC)	2,0

A espécie escolhida foi a *Peltophorum dubium*, conhecida popularmente como canafístula. É uma espécie nativa de rápido crescimento e rusticidade, e vem sendo muito utilizada atualmente em programas para recuperação de áreas degradadas. Suas sementes são ortodoxas e apresentam dormência tegumentar, por isto realizou-se a quebra de dormência das sementes através da metodologia descrita por Oliveira; Davide; Carvalho (2003), onde as sementes são submetidas a um choque térmico, colocadas em água quente a 92°C e logo transferidas para água fria, permanecendo por 24 horas. Após este processo, as sementes foram diretamente utilizadas para o preenchimento dos tubetes, que já estavam preenchidos e dispostos nos canteiros com sombrite, onde permaneceram por aproximadamente 60 dias para que ocorresse a germinação e a formação das plântulas.

A Sabesp (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) disponibilizou o lodo de esgoto *in natura* e o local para que a compostagem fosse realizada. Dois compostos foram feitos: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana (LBC) e lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE), ambos na proporção 1:1. A compostagem durou 45 dias e, após esse período parte deste material foi transferido para o viveiro. Para controle, utilizou-se um substrato comercial composto por casca de arroz, turfa e vermiculita. No viveiro os compostos foram peneirados em granulometria de 5,5 mm, tamanho padrão usado pelas empresas de substrato. Posteriormente, os compostos a base de lodo de esgoto foram umidificados com água em betoneira e utilizados para preenchimento dos tubetes. Em seguida, com os tubetes já dispostos no canteiro com sombrite, duas sementes de *Peltophorum dubium* foram colocadas em cada tubete para germinação. Os tubetes permaneceram no canteiro com sombrite por aproximadamente 60 dias para completa germinação e formação de plântulas. Após este período, os tubetes foram acondicionados em seus respectivos tratamentos em canteiro de plástico transparente.

Após o período de germinação das mudas, realizou-se o desbaste, deixando apenas uma plântula por tubete, dando preferência à mais sadia e centralizada. A análise inicial de altura (Tabela 18) foi realizada para observar o efeito dos substratos antes das mudas serem submetidas aos tratamentos com as doses crescentes de fertirrigação.

Tabela 18 - Altura inicial das mudas de *Peltophorum dubium* aos 60 dias após a semeadura, antes da instalação do experimento

Substrato	Altura (cm)	Desvio padrão	CV
SC	3,6 a	0,1	4,0
LBC	3,6 a	0,2	5,1
LCE	3,8 a	0,3	8,1

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Os substratos foram caracterizados física e quimicamente antes do experimento ser iniciado. A análise física foi realizada de acordo com a metodologia empregada por Guerrini e Trigueiro (2004) para determinação da porosidade total, macroporosidade, microporosidade, retenção de água, pH e condutividade elétrica (EC).

A análise química dos substratos foi realizada duas vezes ao longo do experimento. A primeira análise foi feita antes do experimento ser iniciado e a segunda análise foi realizada ao final do mesmo. Seguiu-se o “protocolo analítico para caracterização química de substrato para plantas” (Instrução Normativa 17, MAPA) e podem ser observadas nas tabelas 19,20 e 21.

Tabela 19 - Análise química dos macronutrientes (g kg⁻¹) e dos micronutrientes (mg kg⁻¹) disponíveis nos substratos antes da instalação do experimento

Macronutrientes	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	9,0	1,8	13,8	2,7	1,5	6,5
LBC	16,0	0,5	6,7	8,4	1,2	13,8
LCE	44,0	0,7	7,9	17,8	1,6	29,3
Micronutrientes	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	0,06	0,02	0,15	0,02	0,01	9,24
LBC	0,06	0,02	0,29	0,05	0,05	9,22
LCE	0,08	0,01	0,94	0,10	0,07	10,09

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Tabela 20 - Análise química dos macronutrientes (g kg⁻¹) disponíveis nos substratos ao final do experimento, em função dos tratamentos

Macronutrientes (g kg⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC zero	12,0	0,8	4,6	2,9	1,2	7,2
LBC zero	14,0	0,3	3,2	4,5	1,0	3,4
LCE zero	16,0	0,2	3,2	26,3	2,7	5,1
SC 1x	12,0	1,9	17,4	11,9	8,7	10,1
LBC 1x	9,0	0,2	9,8	18,7	8,4	4,7
LCE 1x	12,0	0,2	10,0	35,9	9,9	6,4
SC 2x	12,0	2,7	18,2	16,4	12,2	8,6
LBC 2x	12,0	0,3	13,8	33,0	12,0	8,1
LCE 2x	12,0	0,3	14,2	39,7	10,5	8,7
SC 4x	12,0	2,2	34,3	29,8	19,1	4,7
LBC 4x	12,0	0,8	4,6	2,9	1,2	7,2
LCE 4x	14,0	0,3	3,2	4,5	1,0	3,4

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Doses crescentes de fertirrigação: Zero: sem fertirrigação, 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

Tabela 21 - Análise química dos micronutrientes disponíveis nos substratos ao final do experimento, em função dos tratamentos

Micronutrientes (mg kg⁻¹)						
Substratos	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn
SC zero	6,66	0,03	0,01	0,34	0,01	0,01
LBC zero	8,08	0,02	0,01	0,55	0,02	0,03
LCE zero	8,9	0,02	0,01	0,08	0,05	0,14
SC 1x	11,78	0,03	0,01	0,07	0,07	0,04
LBC 1x	9,78	0,02	0,01	0,06	0,08	0,15
LCE 1x	14,1	0,02	0,01	0,08	0,11	0,18
SC 2x	11,02	0,03	0,01	0,06	0,11	0,07
LBC 2x	9,27	0,03	0,01	0,06	0,19	0,31
LCE 2x	12,58	0,03	0,01	0,23	0,16	0,21
SC 4x	9,98	0,04	0,01	0,06	0,26	0,11

(continua)

Tabela 21 - Análise química dos micronutrientes disponíveis nos substratos ao final do experimento, em função dos tratamentos

	(conclusão)					
LBC 4x	9,32	0,04	0,01	0,06	0,34	0,64
LCE 4x	13,97	0,09	0,01	0,14	0,82	0,63

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Doses crescentes de fertirrigação: Zero: sem fertirrigação, 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

As análises realizadas mensalmente para mensurar a qualidade das mudas foram: altura da parte aérea (H), diâmetro de colo (DC), água retida no substrato, massa seca da parte aérea (MSA), massa seca da parte radicular (MSR), massa seca total (MST), qualidade do sistema radicular (QR), Índice de Cor Verde (SPAD) e Índice de Qualidade de Dickson (IQD).

A altura foi medida com uma régua graduada desde o colo até a gema apical. O diâmetro do caule foi medido com um paquímetro digital a partir do colo das plantas. Para massa seca, as mudas tiveram a parte aérea (folhas e caule) separadas da parte radicular. A parte aérea foi diretamente armazenada em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa em uma temperatura de 65°C até que atingissem o peso da massa constante. Realizou-se a análise de conformação do sistema radicular, onde os sistemas radiculares das mudas foram submetidos a um teste de qualidade visual, avaliado por três pessoas, sendo classificadas como: “ótimo” para sistemas radiculares que apresentaram torrão firme, com boa agregação e a maior quantidade de raízes; “bom” para sistemas radiculares que apresentaram torrão com flexibilidade e poucas raízes; e “ruim” para sistemas radiculares com torrão que se desfez com facilidade e quase não apresentavam raízes.

Após essa análise, os sistemas radiculares foram lavados em água corrente, para retirada total do substrato, e então foram armazenados em sacos de papel devidamente identificados e levados à estufa a uma temperatura de 65°C até que atingissem o peso da massa constante. Após atingirem o peso da massa constante, parte aérea e raiz, separadamente, foram pesadas para caracterização da massa seca aérea e radicular.

Depois de secos, os tecidos vegetais foram moídos em moinho tipo Willey para realização da análise química, seguindo a metodologia descrita por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997), com o intuito de determinar a concentração de nutrientes nas mudas

de *Peltophorum dubium*. Posteriormente, calculou-se os valores de cada massa seca pelos valores da concentração de nutrientes, para quantificação do acúmulo de nutrientes nas plantas.

O Índice de qualidade de Dickson (IQD) foi calculado a partir dos valores das principais variáveis: altura (H), diâmetro de colo (DC), peso da massa seca aérea (MSA) e o peso da massa seca radicular (MSR), por meio da fórmula de Dickson et al. (1960) (BINOTTO; LÚCIO; LOPES, 2010).

Para determinação da perda de água em cada substrato e a quantidade de água que o substrato reteve após as irrigações, seguiu-se a metodologia descrita por Lea-Cox; Ross; Tefteau (2001). Foram colocados saquinhos plásticos presos com elásticos nos tubetes e pesou-se os tubetes antes e após a irrigação, descontando o peso da água que saiu pelo fundo do tubete e que ficou armazenada nos saquinhos plásticos.

As análises estatísticas foram rodadas no programa AGROSTAT. Primeiramente, os dados foram submetidos ao teste de normalidade, e depois ao teste de Análise de Variância (ANOVA) para comparar os tratamentos entre si. Quando houve diferença significativa a nível de 5% de probabilidade, os dados foram submetidos ao teste de Scott-Knot ($p < 0,05$) para comparação entre as médias.

2.3 RESULTADOS

As características físicas dos substratos (Tabela 22) mostra a macroporosidade, microporosidade, porosidade total e a capacidade de retenção de água dos substratos utilizados neste presente estudo. O lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto (LCE) foi o substrato com maior porcentagem em macroporosidade, demonstrando ser mais denso que os demais e, conseqüentemente, apresentou maior capacidade de retenção de água, enquanto o substrato LBC apresentou a menor capacidade de retenção de água.

Tabela 22 - Análise física dos substratos: macroporosidade, microporosidade, porosidade total (PT) e capacidade de retenção de água (RA), pH e condutividade elétrica (EC)

Substratos	PT (%)	Macro (%)	Micro (%)	RA (ml)	pH	EC (mS)
SC	79,3 a	36,2 b	43,1 b	22,4 b	6,7	0,164 mS
LBC	79,2 a	41,5 a	37,7 c	19,6 c	6,4	0,147 mS
LCE	75,9 b	24,6 c	51,2 a	26,6 a	6,5	0,169 mS
CV	1,79 %	8,58 %	5,71 %	5,85 %		

SC: substrato comercial a base de turfa, vermiculita e casca de arroz torrefada; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Em relação à altura das mudas de canafístula (Tabela 23), ocorreu interação entre os fatores substratos e doses crescentes de fertirrigação a nível de 5% de probabilidade. Na dose zero, cuja dose não recebeu nenhum tipo de fertirrigação, as mudas produzidas no substrato LCE exibiram maior crescimento em altura em relação aos outros substratos.

Na dose duplicada (2x), as mudas produzidas no LCE também se destacaram em altura dos demais substratos. Na dose padrão (1x) e na dose quadruplicada (4x), o SC e o substrato LCE produziram mudas com médias de altura semelhantes entre si. Todos os substratos obtiveram médias superiores quando submetidos à dose quadruplicada (4x) seguido pela dose padrão (1x).

Tabela 23 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação na altura (cm) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Doses crescentes de fertirrigação			
	Zero	1x	2x	4x
SC	5,5 Bd	20,3 Ab	17,8 Bc	23,2 Aa
LBC	6,4 Bc	15,6 Bb	16,1 Cb	20,2 Ba
LCE	9,5 Ac	20,2 Ab	20,0 Ab	23,6 Aa
CV	25,2%			

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

A variável diâmetro de colo (Tabela 24), também sofreu influência dos fatores “substratos” e “doses crescentes de fertirrigação”. Na dose zero, assim como para a variável altura, o substrato LCE produziu as mudas com os maiores diâmetros.

Na dose duplicada (2x), o LCE também se destacou dos demais, produzindo mudas com diâmetros maiores. Na dose padrão (1x) e na dose quadruplicada (4x) o SC e o substrato LCE apresentaram médias semelhantes entre si e superiores ao substrato LBC. Com exceção da dose zero, os demais tratamentos produziram mudas com diâmetro de colo dentro da média esperada.

Tabela 24 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação no diâmetro de colo (mm) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Doses de Fertirrigação			
	Zero	1x	2x	4x
SC	3,6 Cc	5,7 Aa	5,4 Bb	5,7 Aa
LBC	4,0 Bb	5,4 Ba	5,1 Ba	5,1 Ba
LCE	4,7 Ab	5,9 Aa	5,9 Aa	5,8 Aa

CV 16,4%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

A relação H/D (altura/diâmetro), exposta na tabela 25, sofreu influência de ambos os fatores substratos e frequências de irrigação. Na dose zero, mais uma vez o substrato LCE continuou sendo o melhor dentre os demais. Na dose padrão (1x), as médias de H/D das mudas produzidas em SC e LCE foram semelhantes entre si. Entretanto, para esta variável, as médias das doses duplicada (2x) e quadruplicada (4x) não diferiram entre si para nenhum substrato.

Em relação aos substratos, todas as mudas apresentaram melhor relação H/D quando submetidas à dose quadruplicada (4x), independente do substrato, seguido pelas doses padrão e duplicada, e por último a dose zero com as médias mais baixas.

Tabela 25 - Efeito dos substratos e das doses crescentes de fertirrigação na relação altura/diâmetro (H/D) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	Doses de fertirrigação			
	Zero	1x	2x	4x
SC	1,5 Bc	3,6 Ab	3,4 Ab	4,1 Aa
LBC	1,6 Bc	2,9 Bb	3,2 Ab	4,0 Aa
LCE	2,0 Ac	3,5 Ab	3,4 Ab	4,2 Aa
CV 28,5%				

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

Não houve interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação para as variáveis massa seca aérea, massa seca radicular e massa seca total, apresentadas na tabela 26. No entanto, as variáveis sofreram influência dos fatores quando estes foram analisados separadamente. As mudas produzidas com substrato LCE apresentaram as maiores quantidades de biomassa para as três variáveis analisadas. Considerando as doses crescentes de fertirrigação, a dose quadruplicada (4x) foi a melhor para as três variáveis, produzindo mudas com as maiores quantidades de biomassa. Porém, para a variável massa seca radicular (MSR), todas as médias foram semelhantes entre si, com exceção da dose zero que demonstrou a média mais baixa para todas as variáveis.

Tabela 26 - Massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em gramas (g) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Substratos	MSA	MSR	(continua)
			MST
SC	3,7 b	1,1 b	4,8 b
LBC	2,7 c	1,0 c	3,7 c
LCE	4,0 a	1,3 a	5,3 a
Doses de Fertirrigação	MSA	MSR	MST
Zero	1,3 c	0,9 b	2,1 c
1x	4,0 b	1,3 a	5,3 b

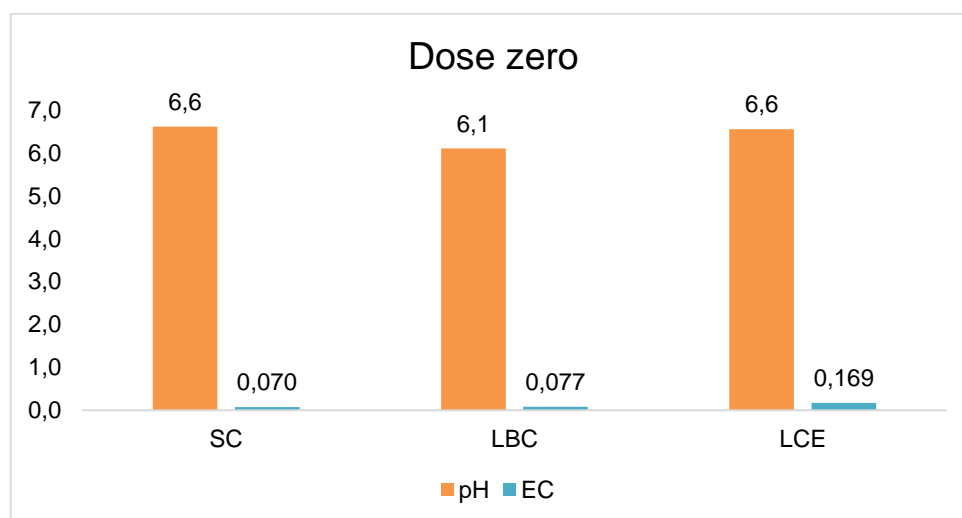
Tabela 26 - Massa seca aérea (MSA), massa seca radicular (MSR) e massa seca total (MST) em gramas (g) das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

	(conclusão)		
2x	3,8 b	1,2 a	5,1 b
4x	4,7 a	1,1 a	5,9 a
CV	30,3%	31,2%	30,5%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

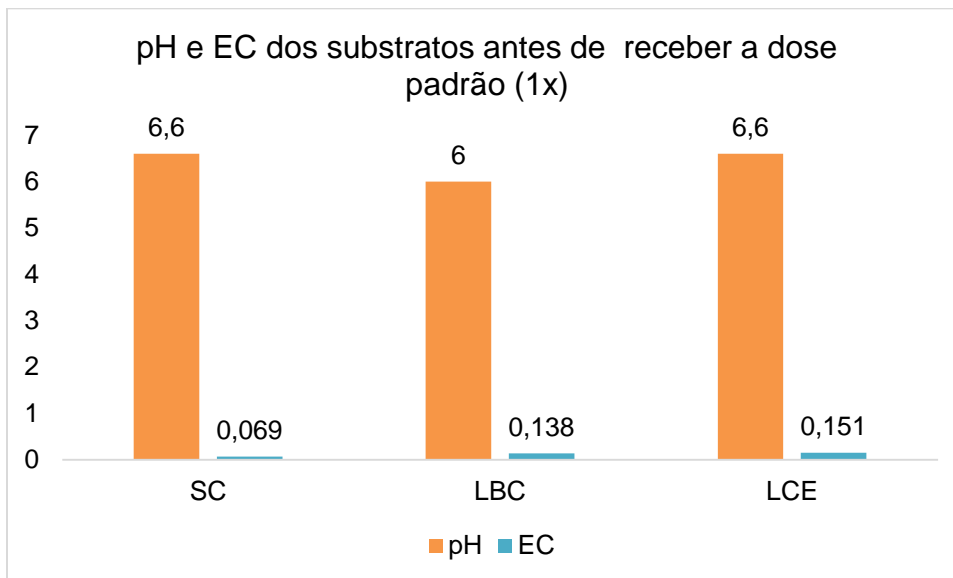
O pH e a condutividade elétrica dos substratos foram analisados antes e após receberem suas respectivas doses de fertirrigação, e podem ser observados nas figuras 1 a 4. Analisar estes dois parâmetros é essencial para estimar a qualidade das mudas, já que o pH e a condutividade elétrica podem variar de acordo com a quantidade de adubação utilizada, podendo ser benéfico, como também prejudicar o desenvolvimento das plantas.

Figura 1 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos submetidos à dose zero



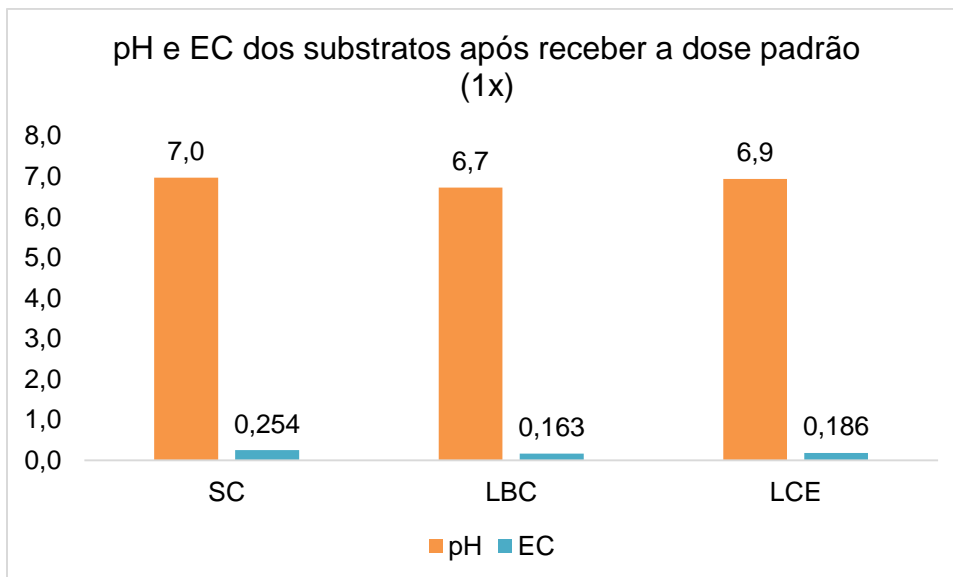
SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Figura 2 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação padrão (1x)



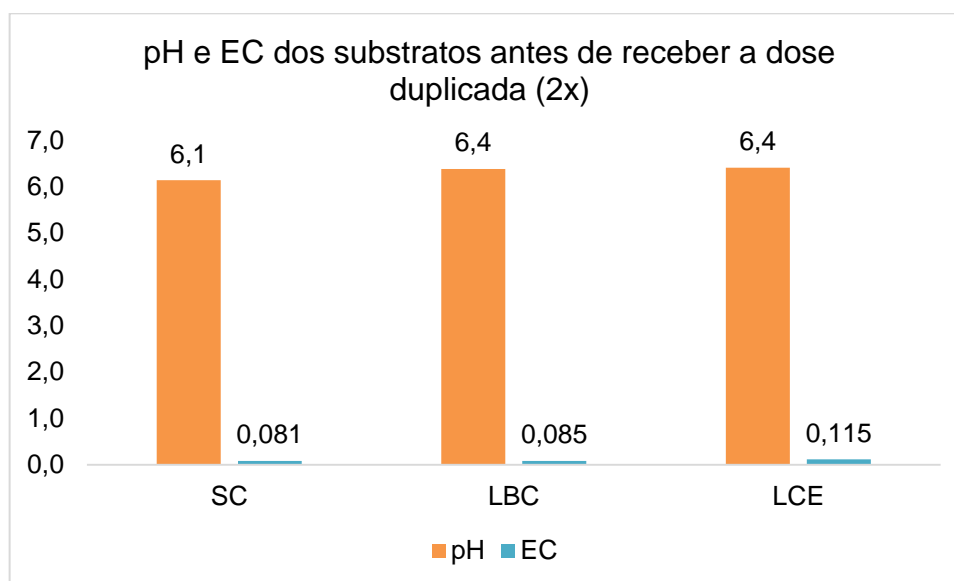
SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Figura 3 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação padrão (1x)



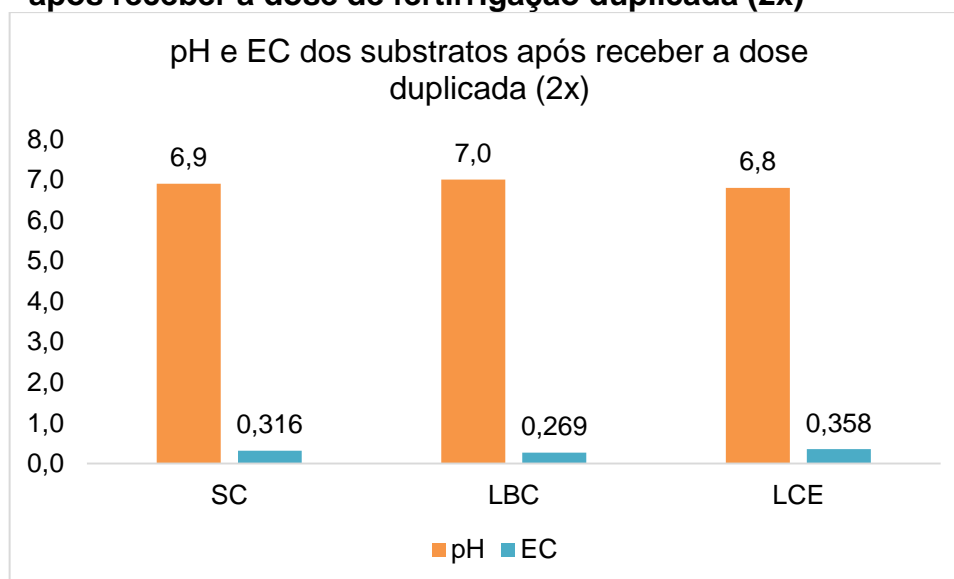
SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Figura 4. pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação duplicada (2x)



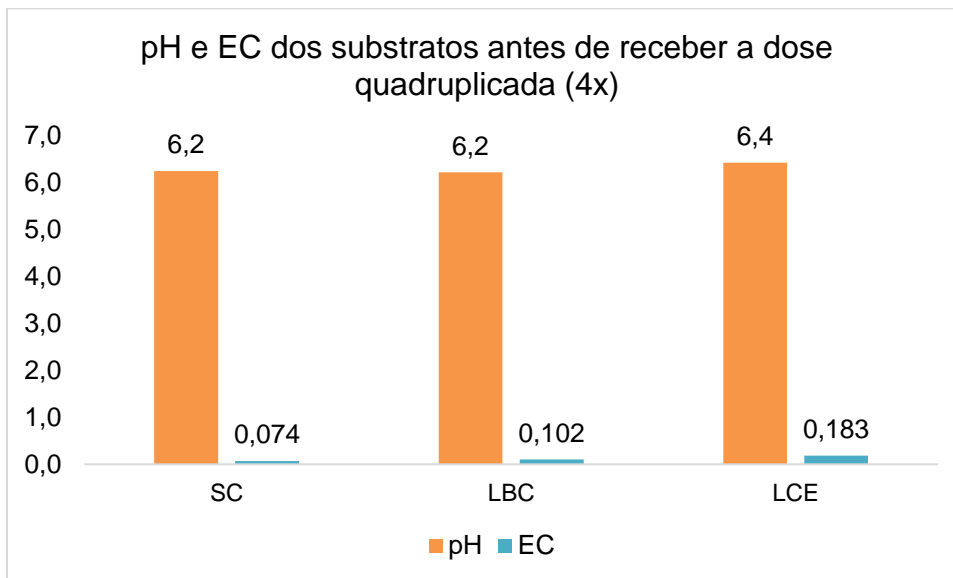
SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto

Figura 5 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação duplicada (2x)



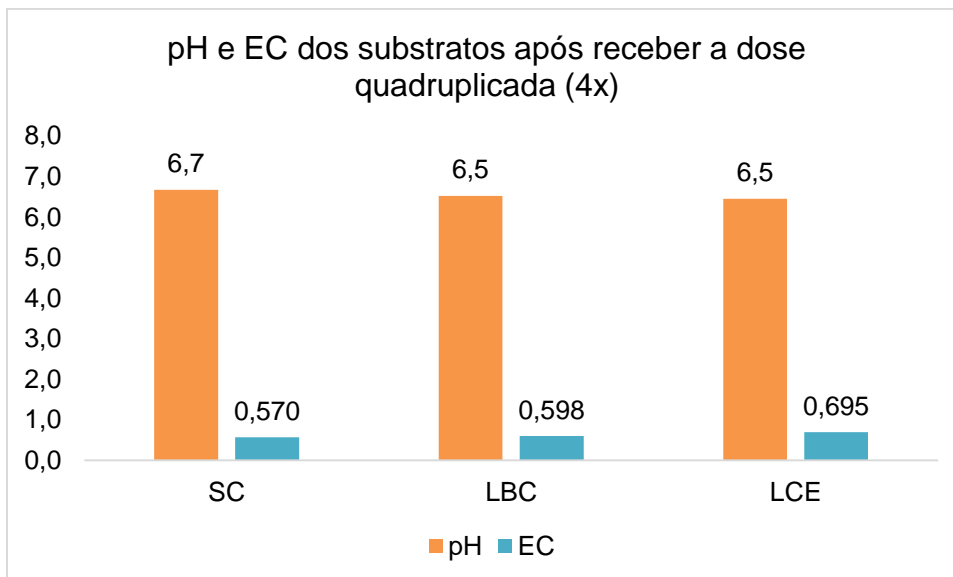
SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Figura 6. pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos antes de receber a dose de fertirrigação quadruplicada (4x)



SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

Figura 7 - pH e condutividade elétrica (EC) em milisiemens (mS^{-1}) dos substratos após receber a dose de fertirrigação quadruplicada (4x)



SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço-de-cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto.

O Índice de Qualidade de Dickson (IQD), apresentado na tabela 27, não sofreu interação entre os fatores substratos e frequências de irrigação.

Como era de se esperar, as mudas produzidas no substrato LCE apresentaram médias superiores em comparação aos outros substratos, demonstrando possuir a melhor qualidade. Em seguida, o SC promoveu mudas com qualidade superior em

relação ao LBC. E por último, o LCE demonstrou produzir as mudas com a pior qualidade.

Em relação às frequências de irrigação, apesar da dose quadruplicada (4x) ter demonstrado médias superiores para as outras variáveis analisadas, para este parâmetro, as mudas submetidas às doses padrão (1x) e duplicada (2x) apresentaram médias superiores, demonstrando a melhor qualidade. A média das mudas produzidas na dose zero e na dose quadruplicada (4x) foram semelhantes entre si e inferiores às demais.

Tabela 27 - Qualidade das mudas de *Peltophorum dubium* pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD), 150 dias após a semeadura, em função dos tratamentos

Substratos	IQD
SC	0,739 b
LBC	0,631 c
LCE	0,856 a
Doses de Fertirrigação	IQD
Zero	0,678 b
1x	0,808 a
2x	0,777 a
4x	0,705 b
CV 29,5%	

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

A tabela 28 é referente ao teor de macronutrientes da parte aérea das mudas de canafístula. Nota-se que as mudas produzidas no SC apresentaram maiores teores de P, K e Mg em sua parte aérea. As mudas produzidas com substrato LCE, por sua vez, apresentaram teor elevado de Ca e S na parte aérea. A dose quadruplicada se sobressaiu no aporte de todos os macronutrientes, com exceção de Ca, onde a dose zero demonstrou o maior teor.

A partir do cálculo de acúmulo de macronutrientes na parte aérea, observa-se que as mudas produzidas em SC e LCE se sobressaíram no acúmulo de N e K. Porém, somente o SC produziu mudas com maior acúmulo de P e Mg na parte aérea.

O substrato LCE foi predominante no acúmulo de Ca e S. Para as doses crescentes de fertirrigação, quase todos os macronutrientes foram encontrados em maior quantidade na parte aérea das mudas submetidas à dose quadruplicada (4x), com exceção do Ca.

Tabela 28 - Teor e acúmulo de macronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Teor de macronutrientes (g kg ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	19,0 a	1,9 a	10,0 a	6,9 c	2,0 a	1,5 b
LBC	18,5 a	1,5 b	9,0 b	7,9 b	1,6 b	1,7 a
LCE	18,0 a	1,6 b	9,1 b	8,8 a	1,4 c	1,7 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
Zero	9,1 d	1,2 d	5,7 d	9,1 a	1,5 b	1,2 c
1x	17,8 c	1,6 c	9,6 c	7,4 b	1,6 b	1,6 b
2x	21,8 b	1,8 b	10,7 b	7,9 b	1,8 a	1,7 b
4x	25,3 a	1,9 a	11,6 a	7,1 b	1,8 a	2,1 a
CV	9,1 %	7,3 %	6,7 %	9,0 %	10,1 %	8,2 %
Acúmulo de macronutrientes (g planta ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	78,8 a	7,4 a	40,4 a	25,0 b	7,3 a	6,0 b
LBC	57,3 b	4,3 c	27,1 b	20,9 c	4,5 c	5,1 c
LCE	78,2 a	6,5 b	38,9 a	33,5 a	5,9 b	7,3 a
Frequências de irrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
Zero	11,7 d	1,5 c	7,2 c	11,9 b	1,8 c	1,5 c
1x	71,1 c	6,7 b	38,9 b	30,0 a	6,5 b	6,5 b
2x	83,0 b	6,9 b	40,9 b	30,2 a	7,0 b	6,6 b
4x	119,8 a	9,3 a	54,9 a	33,8 a	8,3 a	9,9 a
CV	13,2%	16,9%	14,5%	14,1%	11,2%	13,5%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

O teor e acúmulo de micronutrientes na parte aérea das mudas de canafístula (Tabela 29), mostra que, as mudas produzidas com LBC se destacaram, pela primeira vez, no aporte de nutrientes, refletindo em partes aéreas com maiores teores de Fe e Zn. O substrato LCE proporcionou maior teor de Na para a parte aérea das mudas. Em relação às doses crescentes de fertirrigação, a concentração de Mn se sobressaiu na parte aérea das mudas submetidas à dose zero. Adicionalmente, a parte aérea das mudas produzidas na dose zero e na dose padrão (1x), demonstraram maior teor de Cu. O teor de Zn foi mais elevado na parte aérea das mudas submetidas à dose zero e à dose duplicada (2x). As mudas submetidas à dose quadruplicada (4x) apresentaram maior teor de Na. Quanto ao B, todas as médias foram semelhantes entre si. Quanto ao acúmulo de micronutrientes, o B e o Fe foram encontrados em maior quantidade na parte aérea das mudas de canafístula, produzidas em SC e LCE. Em relação ao Cu, Mn, Zn e Na, estes micronutrientes se destacaram apenas nas mudas produzidas em LCE. As mudas submetidas à dose quadruplicada (4x) apresentaram maior acúmulo de quase todos os micronutrientes.

Tabela 29 - Teor e acúmulo de micronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

(continua)

Teor de micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	28,3 a	4,8 a	58,0 b	70,5 b	32,5 c	215,6 b
LBC	25,9 a	5,1 a	67,0 a	85,1 a	121,8 a	216,2 b
LCE	27,8 a	5,1 a	57,3 b	83,6 a	90,3 b	229,3 a
Doses de fertirrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Zero	29,3 a	5,7 a	52,7 b	116,0 a	90,4 a	169,3 d
1x	25,0 a	5,3 a	57,4 b	64,0 b	73,8 b	216,7 c
2x	27,7 a	4,6 b	66,6 a	73,8 b	86,2 a	239,9 b
4x	27,3 a	4,3 b	66,4 a	65,1 b	75,7 b	255,4 a
CV	13,2 %	10,1 %	13,3 %	14,9 %	16,6 %	6,8 %
Acúmulo de micronutrientes (mg planta ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	101,5 a	16,9 b	214,6 a	241,2 b	119,7 c	837,3 b

Tabela 29 - Teor e acúmulo de micronutrientes encontrados na parte aérea das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

(conclusão)						
LBC	70,1 b	13,5 c	192,0 b	197,6 c	314,3 b	628,8 c
LCE	108,9 a	19,4 a	232,2 a	307,4 a	353,3 a	948,8 a
Doses de fertirrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Zero	37,2 c	7,2 c	65,9 c	145,3 c	112,3 c	216,4 c
1x	100,9 b	21,6 a	229,9 b	257,1 b	282,0 b	877,4 b
2x	105,8 b	17,2 b	248,2 b	281,4 b	308,1 b	916,0 b
4x	130,0 a	20,4 a	307,8 a	311,0 a	347,3 a	1210,2 a
CV	16,9%	13,1%	13,5%	16,5%	15,2%	12,3%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

O teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* estão descritos na tabela 30. As raízes das mudas produzidas com substrato LCE apresentaram maior teor de Ca. O SC e LBC produziram raízes que se sobressaíram no teor de K.

Referente às doses crescentes de fertirrigação, as raízes submetidas à dose quadruplicada (4x) apresentaram maior teor de N e Mg. Entretanto, o teor de P foi mais evidente nas raízes submetidas à dose duplicada (2x). Adicionalmente, o K foi encontrando em maior quantidade nas raízes submetidas às doses duplicada (2x) e quadruplicada (4x).

O acúmulo de N, K e Mg foi maior nas raízes das mudas produzidas nos substratos SC e LCE. Somente o substrato LCE proporcionou às raízes maior acúmulo de Ca e S. As raízes submetidas à dose duplicada (2x) e à dose quadruplicada (4x) absorveram maiores quantidades de N. Para os outros nutrientes, com exceção da dose zero, todas as médias foram semelhantes entre si.

Tabela 30 - Teor e acúmulo de macronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

Teor de macronutrientes (g kg⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	12,0 a	1,4 a	11,8 a	3,2 b	2,6 a	1,4 b
LBC	12,1 a	1,4 a	11,4 a	3,5 b	2,2 a	2,4 a
LCE	11,3 a	1,5 a	9,8 b	4,2 a	2,2 a	2,6 a
Doses de fertirrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
Zero	6,8 d	1,1 b	9,9 b	3,7 a	1,4 c	1,4 b
1x	11,1 c	1,4 b	10,3 b	3,9 a	2,4 b	2,3 a
2x	13,1 b	1,8 a	11,6 a	3,4 a	3,0 b	2,4 a
4x	16,2 a	1,4 b	12,2 a	3,4 a	2,5 a	2,4 a
CV	11,6 %	30,4 %	8,6 %	13,8 %	21,0 %	27,8 %
Acúmulo de macronutrientes (g planta⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	13,7 a	1,6 a	12,9 a	3,5 b	2,9 a	1,6 b
LBC	11,5 b	1,3 a	10,7 b	3,3 b	2,2 b	2,3 b
LCE	15,0 a	2,0 a	12,9 a	5,6 a	2,9 a	3,5 a
Doses de fertirrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
Zero	5,8 c	0,9 b	8,3 b	3,2 a	1,3 b	1,3 b
1x	13,7 b	1,7 a	12,8 a	5,0 a	3,0 a	2,9 a
2x	16,1 a	2,3 a	14,1 a	4,3 a	3,7 a	3,1 a
4x	18,0 a	1,6 a	13,5 a	3,9 a	2,7 a	2,7 a
CV	19,9%	46,4%	17,7 %	33,5%	31,3%	45 %

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada

A tabela 31 mostra o teor e o acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas. O teor dos micronutrientes Mn e Na se destacou nas raízes produzidas com substrato LCE. O substrato LBC, por sua vez, produziu raízes com maior teor de Zn. O sistema radicular das mudas produzidas em ambos os compostos com lodo de esgoto se sobressaíram no aporte de Cu. As raízes submetidas à dose zero

apresentaram maior teor de Zn e Na. O Cu foi encontrado em maior quantidade nas raízes submetidas à dose duplicada (2x), enquanto, as raízes da dose quadruplicada (4x) apresentaram maior teor de Fe. Quanto ao acúmulo de micronutrientes, observa-se que o sistema radicular das mudas produzidas com substrato LCE absorveram maior quantidade de Zn. O Cu e o Fe se sobressaíram nas raízes submetidas à dose duplicada (2x). A dose quadruplicada (4x) proporcionou às raízes maior acúmulo de Zn. Além disso, ambas as doses (2x e 4x) proporcionou às raízes, maior absorção de S.

Tabela 31 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

(continua)

Teor de micronutrientes (mg kg ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	34,1 a	5,8 b	332,8 a	37,2 b	16,8 b	316,3 c
LBC	39,5 a	8,8 a	1915,7 a	41,5 b	74,6 a	726,0 b
LCE	39,8 a	7,8 a	1201,5 a	55,9 a	35,2 b	992,9 a
Doses de fertirrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Zero	34,1 a	5,8 b	332,8 a	37,2 b	16,8 b	316,3 c
1x	39,2 a	7,1 b	1075,8 b	37,4 a	24,1 b	744,4 b
2x	38,1 a	10,9 a	2676,2 b	54,3 a	33,6 b	527,8 c
4x	39,3 a	6,7 b	536,8 a	45,3 a	15,0 b	437,8 c
CV	17,7 %	33,1 %	132,9 %	32,9 %	57,5 %	28,6 %
Acúmulo de micronutrientes (mg planta ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	37,7 b	6,5 a	391,3 a	40,8 b	18,3 b	346,5 b
LBC	36,7 b	8,7 a	2013,2 a	38,4 b	57,0 a	632,1 b
LCE	52,9 a	10,5 a	1777,2 a	75,7 a	47,7 a	1337,1 a
Doses de fertirrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Zero	34,1 a	5,8 b	332,8 a	37,2 b	16,8 b	316,3 c
1x	50,1 a	8,9 b	1295,9 b	49,0 a	30,4 b	675,1 b
2x	46,4 a	13,5 a	3425,6 a	70,3 a	43,8 b	908,0 a

Tabela 31 - Teor e acúmulo de micronutrientes no sistema radicular das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

	(conclusão)					
4x	43,7 a	7,4 b	584,4 b	50,5 a	73,1 a	1011,9 a
CV	26,0%	41,4%	149,3%	51,0%	81,7%	52,0%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada

A massa seca total das mudas de *Peltophorum dubium* (Tabela 32), apresenta somente o acúmulo dos macronutrientes e micronutrientes, já que não é possível quantificar o teor de nutrientes.

Em relação aos macronutrientes, o substrato LCE produziu as mudas com maior acúmulo de Ca e S. Adicionalmente, o LCE juntamente com o SC, propiciaram às mudas um maior acúmulo de N, P, K e Mg. As mudas produzidas nas doses duplicada (2x) e quadruplicada (4x) apresentaram maior acúmulo de P e Mg. Porém, somente na dose quadruplicada (4x) as mudas obtiveram maior acúmulo de N, K e S.

Quanto aos micronutrientes acumulados, as mudas produzidas com substrato LCE, se sobressaíram no acúmulo de B, Cu, Mn e Na. Ambos os compostos com lodo de esgoto demonstraram maior acúmulo de Zn.

O Na foi acumulado em maior quantidade pelas mudas produzidas na dose padrão (1x). A dose duplicada (2x) proporcionou às mudas maior absorção de Cu e Fe, e as mudas produzidas na dose quadruplicada (4x) se destacaram no acúmulo de B.

Tabela 32 - Acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca total das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

(continua)						
Acúmulo de macronutrientes (g planta ⁻¹)						
Substratos	N	P	K	Ca	Mg	S
SC	163,3 a	16,3 a	107,1 a	47,8 b	23,0 a	15,0 b
LBC	123,0 b	11,3 b	78,6 b	41,0 b	14,8 b	16,1 b
LCE	166,4 a	16,5 a	105,1 a	67,3 a	20,0 a	24,1 a
Doses de fertirrigação	N	P	K	Ca	Mg	S
Zero	34,0 d	4,5 c	32,2 c	28,0 b	6,1 c	5,8 c

Tabela 32 - Acúmulo de macro e micronutrientes na massa seca total das mudas de *Peltophorum dubium* 150 dias após a semeadura

	(conclusão)					
1x	151,1 c	15,9 b	105,0 b	60,4 a	21,0 b	20,3 b
2x	175,8 b	18,6 a	112,0 b	57,7 a	24,6 a	21,3 b
4x	242,9 a	19,7 a	138,8 a	62,0 a	24,8 a	26,3 a
CV	11,9%	21,1%	11,0%	17,2%	19,4%	26,3%
Acúmulo de micronutrientes (mg planta ⁻¹)						
Substratos	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
SC	298,1 b	50,9 b	2100,1 a	492,7 b	232,5 b	2586,8 b
LBC	236,8 c	51,6 b	7678,4 a	422,8 b	597,2 a	3103,8 b
LCE	362,0 a	69,2 a	7261,8 a	672,7 a	606,2 a	5865,3 a
Doses de fertirrigação	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Na
Zero	135,0 c	23,3 c	780,8 b	335,7 b	365,5 a	2612,0 b
1x	340,5 b	65,0 b	5469,3 b	539,8 a	498,3 a	5170,4 a
2x	329,1 b	76,4 a	13380,1 a	661,0 a	586,3 a	3961,0 b
4x	391,1 a	64,2 b	3090,1 b	581,1 a	464,4 a	3664,4 b
CV	12,7%	20,5%	141,5%	31,5%	31,1%	37,9%

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

Médias seguidas por letras minúsculas iguais na linha e maiúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott ($p < 0,05$). SC: substrato comercial; LBC: lodo de esgoto compostado com bagaço de cana; LCE: lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto. Zero: sem fertirrigação; 1x: dose padrão; 2x: dose duplicada; 4x: dose quadruplicada.

2.4 DISCUSSÃO

O SC e o substrato LCE obtiveram médias semelhantes para algumas das variáveis analisadas. Contudo, do ponto de vista sustentável e ambiental, recomenda-se o uso do substrato LCE para a produção de mudas de *Peltophorum dubium*. O composto LBC, por sua vez, apresentou as menores médias, mesmo contendo lodo de esgoto em sua composição.

A análise física dos substratos demonstra que o composto LCE apresentou uma porcentagem maior de microporosidade, tornando este substrato mais denso em comparação aos demais, refletindo em uma maior capacidade de retenção de água, absorção de macro e micronutrientes, água disponível e condutividade elétrica.

Compostos com lodo de esgoto costumam ser mais densos devido sua elevada porcentagem de microporosidade (ABREU et al., 2017). Além disso, os fragmentos de casca de eucalipto, conforme foram se decompondo no composto, criaram partículas finas, auxiliando na densidade do substrato, enquanto o substrato LBC, mesmo contendo lodo de esgoto em sua composição, foi o substrato que apresentou a maior porosidade, devido às fibras do bagaço-de-cana, resultando em um substrato com baixa capacidade de retenção de água e poucas características desejáveis para um substrato.

A análise química dos substratos realizada antes do experimento ser instalado, demonstrou que o LCE apresentou maiores quantidades de Ca, S e Fe. Cabreira et al. (2017) recomendam o uso do lodo de esgoto como substrato, pois é um material que costuma apresentar elevada concentração de nutrientes, principalmente N e P, em comparação aos substratos comerciais.

É esperado que substratos com lodo de esgoto apresentem teores mais elevados de nutrientes em comparação aos substratos comerciais, já que estes costumam ser inertes (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004). Porém, o substrato utilizado como testemunha, por sua vez, apresentou maior concentração de P e de K. Isto ocorreu porque o lote do substrato comercial utilizado neste trabalho recebeu adição de superfosfato simples durante seu processo de fabricação. Além disso, o SC é composto por casca de arroz carbonizada, material rico em K (potássio).

Objetivou-se, neste presente estudo, empregar o lodo de esgoto compostado como substrato para produção de mudas de *Peltophorum dubium*, sem a necessidade de se utilizar adubação química. Entretanto, as mudas submetidas à dose zero não proporcionaram o desenvolvimento esperado. A concentração de nutrientes presentes no lodo de esgoto se dilui durante a compostagem (GUERRINI e TRIGUEIRO, 2004), portanto, o teor de nutrientes disponíveis na dose zero não foi suficiente para o desenvolvimento das mudas. Nota-se também que quanto maior a dose de fertirrigação utilizada, maior foi o crescimento em altura e diâmetro de colo que as mudas apresentaram, confirmando que o uso de adubação química via fertirrigação foi necessário. Além disso, isto demonstra a preferência da canafístula por solos férteis.

Estes resultados corroboram com os dados obtidos por Rocha et al. (2013), onde os autores constataram que mudas de eucalipto produzidas em lodo de esgoto compostado com casca de arroz carbonizada, submetidos à dose zero, não atingiram

a altura esperada. Segundo os autores, os teores de nutrientes presentes no composto não foram suficientes para impulsionar o crescimento das mudas, sendo necessário o uso de fertilizantes.

As mudas submetidas à dose de fertirrigação padrão (1x) e à dose quadruplicada (4x), demonstraram desenvolvimento elevado em comparação às mudas submetidas à dose zero e à dose duplicada (2x) para a maioria das variáveis analisadas. Contudo, embora a dose quadruplicada (4x) tenha se sobressaído em relação à dose padrão (1x) para algumas variáveis, as mudas produzidas na dose padrão (1x) atingiram as médias esperadas, portanto, no que concerne à economia com fertilizantes químicos, para o viveirista é mais vantajoso continuar utilizando a dose padrão (1x).

A altura estabelecida por Gonçalves et al. (2000) para mudas de espécies nativas, deve ser entre 20 a 35 cm de altura, deste modo, com exceção da dose zero, o substrato LCE submetido às demais doses de fertirrigação, proporcionou às mudas o maior crescimento em altura. Quanto maior a dose de fertirrigação aplicada, maior foi o crescimento em altura das mudas de canafístula, evidenciando sua exigência por nutrientes, especialmente N e P, conforme proposto por Souza et al. (2013) e Bertolini; Debastiani; Brun (2015). No estágio inicial das mudas, a demanda por N e P é maior, uma vez que estes nutrientes estão relacionados com o arranque inicial de crescimento em altura e diâmetro (TRAZZI; CALDEIRA; COLETOMBI, 2014).

Em relação ao diâmetro de colo, Gonçalves et al. (2000) citam que mudas de espécies nativas devem apresentar diâmetro entre 5 a 10 mm, portanto, com exceção da dose zero, todos os substratos produziram mudas com o tamanho do diâmetro de colo sugerido pelos autores, embora o substrato LCE tenha proporcionado às mudas os maiores diâmetros em comparação aos outros substratos. De acordo com Rocha et al. (2013), as mudas de eucalipto produzidas em lodo de esgoto compostado com casca de arroz carbonizada, apresentaram maior diâmetro de colo em comparação ao substrato comercial.

Para que as mudas sejam consideradas de qualidade, o valor da relação H/D deve estar abaixo de 10 (JOSÉ; DAVIDE; OLIVEIRA, 2009), sendo assim, todos os tratamentos apresentaram valores dentro do estabelecido por estes autores, inclusive as mudas produzidas na dose zero, independentemente do substrato. Souza et al. (2013), testando omissão de nutrientes na produção de mudas de *Peltophorum dubium*, observaram que a relação H/D foi prejudicada na omissão de P.

Ainda de acordo com Souza et al. (2013), a espécie *Peltophorum dubium* apresenta limitação de crescimento em altura e diâmetro quando há falta de N, K, S, Ca, Mg, B e Zn. Neste estudo, as mudas produzidas no composto LCE, apresentaram as maiores médias para a variável altura pois apresentaram maior aporte destes nutrientes.

Referente as variáveis massa seca da parte aérea, massa seca radicular e massa seca total, as mudas produzidas com substrato LCE apresentaram maior produção de biomassa da parte aérea e radicular, e conseqüentemente, o melhor desenvolvimento em relação às mudas produzidas nos demais substratos; garantindo às mudas maior capacidade de sobreviver às condições adversas de campo, conforme proposto por Echer et al. (2007).

Na análise química dos substratos, o composto LCE apresentou os maiores teores de nutrientes, e isto se refletiu na análise química das plantas, tanto no teor quanto no acúmulo de nutrientes pelas mudas de canafístula. Conseqüentemente, o LCE proporcionou às mudas uma maior produção de biomassa e também um maior crescimento em altura e diâmetro.

A nutrição mineral desempenha um papel fundamental no desenvolvimento da parte aérea das mudas, que precisa estar bem desenvolvida para realização da fotossíntese (BERNARDI; CARMELLO; CARVALHO, 2000), e isto foi observado nas mudas produzidas com LCE.

Em relação a análise de pH, Kämpf, (2005) recomenda que o pH de substratos orgânicos deve estar entre 5,0 a 6,5, pois dentro desta variação o pH favorece o crescimento das plantas. Esta medida influencia nos principais processos das plantas, sobretudo, na capacidade de absorção dos nutrientes disponíveis no substrato (KÄMPF, 2005). Os valores de pH dos substratos utilizados neste estudo, variaram de 6,1 a 6,8 antes da fertirrigação ser aplicada.

Como era de se esperar, após a fertirrigação ser aplicada, o pH dos substratos aumentou, variando entre 6,3 a 7,1. Alguns substratos apresentaram pH um pouco acima do recomendado pelo autor, tanto antes quanto após a fertirrigação, porém, com exceção da dose zero e do substrato LBC, todos os tratamentos produziram mudas com desenvolvimento satisfatório. O pH do SC e do LCE foram mais elevados em relação ao pH do LBC, no entanto, estes substratos produziram as mudas com as melhores médias para a maioria das variáveis analisadas.

Segundo dados obtidos por Gonçalves et al. (2000), todos os substratos apresentaram condutividade elétrica (EC) dentro do considerado ideal para substratos orgânicos, que é abaixo de $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$. Ainda assim, valores elevados de condutividade elétrica são normais quando se trata de substratos com lodo de esgoto em sua composição, devido ao alto teor de nutrientes que apresentam (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003). A condutividade elétrica está relacionada com a salinidade nos substratos, e isso pode gerar maior gasto energético para a planta, dificultando a absorção de água disponível (QUEIROZ; TESTEZLA; MATSURA, 2005). Por outro lado, apesar de substratos com lodo de esgoto costumarem apresentar pH e condutividade elétrica mais elevada, estes compostos propiciam maior fertilidade ao solo e substratos, reduzindo a necessidade se de utilizar fertilizantes.

Em relação ao Índice de Qualidade de Dickson (IQD), que é um dos parâmetros mais confiáveis para se avaliar a qualidade da muda, pois abrange as principais variáveis morfológicas, as mudas produzidas em substrato LCE apresentaram a melhor qualidade. Embora a dose quadruplicada (4x) tenha se sobressaído para a maioria das variáveis analisadas, para o IQD, a dose padrão (1x) e a dose duplicada (2x) produziram as mudas com a melhor qualidade.

Na análise química dos substratos, observa-se que o SC apresentou maiores concentrações de P e K, e isto se refletiu na análise química das plantas, onde estes nutrientes também se sobressaíram na parte aérea e na massa total das mudas de canafístula, tanto no teor quanto no acúmulo. No sistema radicular, no entanto, as mudas não apresentaram teores elevados destes nutrientes. Somente no acúmulo, é que as mudas demonstraram melhor aproveitamento do K pelas raízes.

O substrato LCE apresentou maior teor de N, Ca, Mg e S. Na análise química das plantas, a parte aérea e radicular das mudas exibiu apenas maior teor de Ca. Porém, as mudas acumularam maior quantidade de N, K, Ca e S. A parte radicular também mostrou melhor aproveitamento do Mg. Adicionalmente, a massa seca total aproveitou também o P.

Aos 150 dias, o maior teor e acúmulo de nutrientes foi encontrado na parte aérea das mudas. Estes resultados corroboram com os dados obtidos por Gonçalves et al. (1992), onde os autores observaram que mudas de *Peltophorum dubium*, aos 128 dias de idade, apresentaram maior concentração nutrientes na parte aérea. Isto confirma a elevada exigência nutricional da canafístula e sua preferência por solos

férteis, já que quando cultivada nestas condições, costuma apresentar rápido crescimento (VENTURIN et al., 1999).

O maior aporte de nutrientes na parte aérea, também foi observado por Souza et al. (2013). Os autores testaram omissão de nutrientes no desenvolvimento de *Peltophorum dubium*, e averiguaram que a parte aérea e o sistema radicular apresentaram desenvolvimento reduzido na omissão de N e P, embora, segundo os autores, o P tenha sido melhor aproveitado pelas mudas. Todos os teores de nutrientes encontrados na parte aérea das mudas de canafístula neste trabalho, estão dentro dos valores sugeridos por Malavolta; Vittj; Oliveira (1997).

O N costuma ser o nutriente encontrado em maior quantidade no lodo de esgoto, além de ser um dos macronutrientes mais exigidos pelas plantas, pois atua diretamente no processo de crescimento (LEGHARI et al., 2016). O substrato que apresentou maior teor de N foi o LCE, em relação aos outros substratos utilizados. A parte aérea, radicular e massa total das mudas produzidas em SC e LCE se sobressaíram no acúmulo de N. O desenvolvimento satisfatório das mudas produzidas no composto LCE pode ser atribuído ao fato de que este composto possui elevado teor de N (TRIGUEIRO e GUERRINI, 2003). A qualidade da muda está diretamente relacionada com sua capacidade de se desenvolver e sobreviver às condições de campo (CARNEIRO, 1995).

Espécies florestais tendem a apresentar bom desempenho quando cultivadas em substrato a base de lodo de esgoto, pois este resíduo apresenta elevado teor de matéria orgânica, assim como os solos florestais, devido a decomposição da serapilheira (CABREIRA et al., 2017).

O bagaço-de-cana, por sua vez, é um material de baixo valor nutritivo e apresentou partículas grandes ao final do processo de compostagem, não sofrendo modificação ao longo da produção de mudas, resultando em um substrato altamente poroso, com baixa retenção de água. A casca de eucalipto, entretanto, é um material de baixa fertilidade, mas que costuma conter teores de Ca, K, Mg, Na, Mn e Fe (ANDRADE et al., 2011). Além disso, os fragmentos de casca de eucalipto sofreram decomposição ao longo do processo de compostagem, gerando partículas finas, resultando em um material mais denso, com elevada microporosidade e alta capacidade de retenção de água.

Guerrini e Trigueiro (2004) salientam que o lodo de esgoto no estado puro apresenta elevada concentração de nutrientes, portanto, o ideal seria utilizar o lodo *in*

natura. Ainda assim, os autores afirmam que o bio-sólido também é um excelente material para ser utilizado como substrato na produção de mudas, pois apresenta elevada carga de nutrientes quando comparado a substratos comerciais. Apesar disso, é necessário conhecer a exigência nutricional das espécies, para que se otimize a disponibilização dos nutrientes para a planta.

2.5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento das mudas de *Peltophorum dubium* na dose zero não foi satisfatório, sendo necessário o uso de fertilizantes, via fertirrigação.

As mudas submetidas à dose padrão e à dose quadruplicada apresentaram médias semelhantes entre si para a maioria das variáveis analisadas. Entretanto, no que concerne à economia com fertilizantes químicos, continua sendo mais vantajoso para o viveirista utilizar a dose padrão.

Recomenda-se, portanto, do ponto de vista ambiental, o uso do lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto associado a dose padrão, para a produção de mudas de *Peltophorum dubium*.

REFERÊNCIAS

ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com bio-sólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.

ANDRADE, M. C.; MINHONI M. T. A.; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C.; SALES-CAMPOS, C. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 183-192, 2011.

BARONE, E.P.; SILVA, A.M.; FERRAZ, M. V. Aproveitamento do lodo de esgoto e da casca de palmito na produção de mudas de *Lantana câmara*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 12, n. 2, p. 132-143, 2018.

BERGONCI, J. I.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A.; SANTOS, A. O. Potencial da água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 8, p. 1531-1540, 2000.

BERNARDI, A. C. C.; CARMELLO, Q. A.; CARVALHO, S. A. Desenvolvimento de mudas de citrus cultivadas em vaso em resposta à adubação NPK. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 4, p. 733-738, 2000.

BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 67-76, 2015.

BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.

BIANCHI, C. A. M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e Convencional**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, Lavras, v. 16, n. 4, p. 457-464, 2010.

BOSA, N.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsofila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 514-519, 2003.

CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 165 - 176, 2017.

CARNEIRO, J. G. A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: Folha de Viçosa, 1995. 451 p.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**, Manaus, v. 37, n. 2, p. 229-234, 2007.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J. C. L. Macronutrients in production of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. seedlings in red yellow ultisol of the zona da mata, mg region. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, 2011.

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

ECHER, M. M.; GUIMARÃES, V. F.; ARANDA, A. N.; BORTOLAZZO, E. D.; BRAGA, J. S. Avaliação de mudas de beterraba em função do substrato e do tipo de bandeja. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 45-50, 2007.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; SANTOS, K. G.; BARICCATTI, R. A.; MELEGARI, S. N.; FRIGO, K. D. A.; SANTOS, R. F. Potencial dendroenergético da espécie *Peltophorum Dubium* (spreng.) Taub. (canafístula) para produção de biocombustíveis sólidos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 4, p. 42- 53, 2015.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos, **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 3, p. 373-384, 2013.

FONSECA, É. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, É.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micrantha* (L.) blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 515-523, 2002.

GONÇALVES, J. L. de M.; KAGEYAMA, P. Y.; FREIXÊDAS, V. M.; GONÇALVES, J. C.; GERES, W. L. de A. Capacidade de absorção e eficiência nutricional de algumas espécies arbóreas tropicais. In: II Congresso Nacional sobre Essências Nativas, São Paulo, SP, **Anais...** São Paulo: Instituto Florestal, 1992. p.463- 468.

GONÇALVES, J. L. M. SANTARELI, E. G.; MORAES NETO, S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p.309-350. 2000.

GONÇALVES, L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: XIII CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1996, Águas de Lindóia. **Resumos...** Piracicaba, Sociedade Latino Americana de Ciência do Solo, 1996.

GUERRA, M. P.; NODARI, R. O.; REIS, A.; GRANDO, J. L. Comportamento da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) em viveiro, submetida a diferentes métodos de quebra de dormência e semeadura. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 1-18, 1982.

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

HECK, K.; MARCO, É. G.; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; SAND, V. D. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n.1, p.54-59, 2013.

JOSÉ, A. C.; DAVIDE, A. C.; OLIVEIRA, S. L. Efeito do volume do tubete, tipo e dosagem de adubo na produção de mudas de aroeira (*Schinus terebenthifolia* Raddi). **Agrarian**, Dourados, v. 2, n. 3, p. 73-86, 2009.

KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2ed. Guaíba: Agrolivros. 2ª edição, p.45-72, 2005.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

LEGHARI, S. J.; WAHOCHO, N. A.; LAGHARI, G. M.; LAGHARI, A. H.; BHABHAN, G. M.; TALPUR, K. H.; BHUTTO, T. A.; WAHOCHO, S. A.; LASHARI, A. A. Role of Nitrogen for Plant Growth and Development: A Review. **Advances in Environmental Biology**, v. 10, n. 9, p. 209-218, sep., 2016.

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

MOROZESK, M.; BONOMO, M. M.; DUARTE, I. D.; ZANI, L. B.; CORTE, V. B. Longevity of native seeds from the Atlantic Forest. **Natureza online**, 2014. Disponível em:

<http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/07_MorozeskMetal_185-194.pdf> Acesso em: 07/05/2018.

NÓBREGA, R. S. A.; VILAS BOAS, R. C.; NÓBREGA, J. C. A.; PAULA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebynthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.

OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Avaliação de métodos para quebra da dormência e para a desinfestação de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 597-603, 2003.

OREN, R.; SPERRY, J. S.; KATUL, G. G.; PATAKI, D. E.; EWERS, B. E.; PHILLIPS, N.; SCHAFER, K. V. R. Survey and synthesis of intra and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, Glasgow, v. 22, n. 12, p. 1515-1526, 1999.

PEPPER, I. L.; BROOKS, J. P.; GERBA, C. P. Pathogens in Biosolids. **Advances In Agronomy**, v. 90, p. 1-41, 2006.

QUEIROZ, S. O. P.; TESTEZLA, R.; MATSURA, E. E. Avaliação de equipamentos para determinação da condutividade elétrica do solo. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 3, p. 279-287, 2005.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36, 2013.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura e sapd e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, n. 4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 971-979, 2014.

SCHEER, M. B.; CARNEIRO, C.; SANTOS, K. G. Substratos à base de lodo de esgoto compostado na produção de mudas de *Parapiptadenia rigida* (Benth.) Brenan. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 88, p. 637-644, 2010.

SILVA, R. B. G.; SILVA, M. R. Nursery water management on initial development and quality of *Piptadenia gonoacantha* seedlings. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 105, p. 91-100, 2015.

Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - **SNIS** (BRASIL, 2014) Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos 2013. Brasília: SNSA/MCIDADES, p. 181

Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diag2013/Diagnostico_AE2013. Acesso em: 10 de outubro de 2018.

SOUZA, N. H.; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. de O.; RAMOS, D. D.; SCALON, S. de P. Q.; SILVA, E. F. da. Estudo nutricional (II): Eficiência nutricional em função da adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 36, n. 5, p. 803-812, 2013.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLETOMBI, R. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.

TRIGUEIRO, R. M. e GUERRINI, I. A. Uso de biossólido como substrato para produção de mudas de eucalipto. **Scientia Florestalis**, Piracicaba, n. 64, p. 150-162, 2003.

VENTURIN, N.; DUBOC, E.; VALE, F. R.; DAVIDE, A. C. Adubação mineral do angico-amarelo (*Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 3, p. 442-448, 1999.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em ambos os experimentos, o lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto demonstrou ser o substrato mais adequado para produção de mudas de *Peltophorum dubium*. Este substrato apresentou as características físicas e químicas mais apropriadas em comparação aos outros substratos utilizados. Além disso, as mudas produzidas neste composto apresentaram o maior crescimento em altura e diâmetro, maior produção de biomassa da parte aérea e radicular e também a maior qualidade pelo Índice de Qualidade de Dickson (IQD). Dessa forma, recomenda-se o uso do lodo de esgoto compostado com casca de eucalipto submetido às frequências de irrigação de duas e três ao dia, associado à dose padrão de fertirrigação.

Com a crescente demanda por soluções para o reaproveitamento de resíduos orgânicos, uma alternativa bastante viável e sustentável é empregar o lodo de esgoto compostado como substrato na produção de mudas florestais. Portanto, faz-se necessário aumentar a divulgação dos benefícios do lodo de esgoto nas áreas agrícola e florestal. Também é imprescindível que mais estudos sejam realizados a respeito das exigências hídricas e nutricionais das espécies florestais nativas.

REFERÊNCIAS

- ALVES JÚNIOR, J., BARBOSA, L. H. A.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; COSTA, F. R. Cescimento de Mogno Africano submetido a diferentes níveis de irrigação por microaspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 466 – 480, julho -setembro, 2016
- ANDRADE, M. C.; MINHONI M. T. A.; SANSÍGOLO, C. A.; ZIED, D. C.; SALES-CAMPOS, C. Estudo comparativo da constituição nutricional da madeira e casca de espécies e clones de eucalipto visando o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 183-192, 2011.
- BARONE, E.P.; SILVA, A.M.; FERRAZ, M. V. Aproveitamento do lodo de esgoto e da casca de palmito na produção de mudas de *Lantana câmara*. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, Tupã, v. 12, n. 2, p.132-143, 2018.
- BEESON JÚNIOR., R. C. Modelling actual evapotranspiration of *Ligustrum japonicum* from rooted cuttings to commercially marketable plants in 12 liters black polyethylene containers. **Acta Horticulturae**, Belgium, v. 664, p. 71-77, 2004.
- 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. (Orgs). **Uso agrícola de lodo de esgoto: avaliação após a Resolução n. 375 do CONAMA**. Botucatu: FEPAF, 2010. p. 31-50.
- BERTOLINI, I. C.; DEBASTIANI, A. B.; BRUN, E. J. Caracterização silvicultural da canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert) **Scientia Agraria Paranaensis**, Marechal Cândido Rondon, v. 14, n. 2, p. 67-76, 2015.
- BETTIOL, W.; CAMARGO, O. **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. p. 349.
- BEZERRA, F. B.; OLIVEIRA, M. A. C. L.; PEREZ, D. V.; ANDRADE, A. G.; MENEGUELLI, N. A. Lodo de esgoto em revegetação de área degradada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 3, p. 469-476, 2006.
- BOSA, N.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A.; SUZIN, M. Crescimento de mudas de gipsofila em diferentes substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 3, p. 514-519, 2003.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento – MAPA. Instrução Normativa nº 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.
- CABREIRA, G. V.; LELES, P. S. S.; ALONSO, J. M.; ABREU, A. H. M.; LOPES, N. F.; SANTOS, G. R. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, Curitiba, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CALDEIRA, M. V. W., SCHUMACHER, M. V., BARICHELO, L. R., VOGEL, H. L. M., OLIVEIRA, L. S. Crescimento de mudas de *Eucalyptus saligna* Smith em função de diferentes doses de vermicomposto. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 28, n. 1-2, p. 19-30, 2000.

CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; LÜBE, S. G.; GOMES, D. R.; GONÇALVES, E. O.; ALVES, A. F. Biossólido na composição de substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 1, p. 77-84, 2012.

CARVALHO, P. E. R. Circular Técnica, Canafístula. **EMBRAPA**, 2002. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/306466/1/CT0064.pdf>> Acesso em: 07/02/2018.

CASTRO, A. L. F. G.; SILVA, O. R.; SCALIZE, P. S. Cenário da disposição do lodo de esgoto: uma revisão das publicações ocorridas no Brasil de 2004 a 2014. **Multi-Science Journal**, Urutaí, v. 1, n. 2, p. 66-73, 2015.

CRUZ, C. A. F.; PAIVA, H. N.; CUNHA, A. C. M. C. M.; NEVES, J. C. L. Macronutrients in production of *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. seedlings in red yellow ultisol of the zona da mata, mg region. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 445-457, 2011.

DUTRA T. R.; MASSAD M. D.; SANTANA R. C. Parâmetros fisiológicos de mudas de copaíba sob diferentes substratos e condições de sombreamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, p. 1212-1218, 2012.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; SANTOS, K. G.; BARICCATTI, R. A.; MELEGARI, S. N.; FRIGO, K. D. A.; SANTOS, R. F. Potencial dendroenergético da espécie *Peltophorum dubium* (spreng.) Taub. (canafístula) para produção de biocombustíveis sólidos. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 4, p. 42- 53, 2015.

FARIA, M. F.; GUERRINI, I. A.; OLIVEIRA, F. C.; SATO, M. I. Z.; HACHICH, E. M.; PASSOS, J. R. S.; GOULART, L. M. L.; SILVA, T. T. S.; GAVA, J. L.; FURCHES, J. C.; JAMES, J.; HARRISON, R. B. Persistence of *Ascaris* spp. ova in Tropical Soil Cultivated with Eucalyptus and Fertilized with Municipal Biosolids. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 46, n. 3, p. 522-527, 2017.

FERREIRA, F. N. A.; FERREIRA, W. M.; MOTA, K. C. N.; NETA, C. S. S.; LARA, L. B.; SANTOS, E. A. Avaliação nutricional do bagaço de cana-de-açúcar enriquecido com vinhaça em dietas para coelhos em crescimento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 28, n. 4, p. 217-226, 2015.

FERRAZ, M. V.; CENTURION, J. F.; BEUTLER, A. N. Caracterização física e química de alguns substratos comerciais. **Maringá**, v. 27, n. 2, p. 209-214, 2005.

GUEDES, M. C.; ANDRADRE, C. A.; POGGIANI, F.; MATTIAZZO, M. E. Propriedades químicas do solo e nutrição do eucalipto em função da aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 267-280, 2006.

GUERRA, M. P.; NODARI, R. O.; REIS, A.; GRANDO, J. L. Comportamento da canafístula (*Peltophorum dubium* (sprengel) taubert) em viveiro, submetida a diferentes métodos de quebra de dormência e semeadura. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 5, p. 1-18, 1982.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **IBGE**. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008. 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1>. Acesso em: 01/03/2018.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4.ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173 p.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, V. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 37, n. 6, p. 1103-1113, 2013.

LEA-COX, J. D.; ROSS, D. S.; TEFFEAU, K. M. A water and nutrient management planning process for container nursery and greenhouse production systems in Maryland. **Journal of Environmental Horticulture**, Washington, v. 19, n. 4, p. 226-229, 2001.

MANGIAFICO, S. S.; ZURAWSKI, D.; MOCHIZUKI, M. J.; NEWMAN, J. P. Adoption of sustainable practices to protect and conserve water resources in container nurseries with greenhouse facilities. **Acta Horticulturae**, Belgium, v. 797, p. 367-372, 2008.

MOROZESK, M.; BONOMO, M. M.; DUARTE, I. D.; ZANI, L. B.; CORTE, V. B. Longevity of native seeds from the Atlantic Forest. **Natureza online**, 2014. Disponível em: <http://www.naturezaonline.com.br/natureza/conteudo/pdf/07_MorozeskMetal_185-194.pdf> Acesso em: 07/05/2018.

MÜLLER, E. M.; GIBBERT, P.; BINOTTO, T.; KAISER, D. K.; BORTOLINI, M. F. Maturação e dormência em sementes de *Peltophorum dubium* (Spreng) Taub. de diferentes árvores matrizes. **Heringia, Série Botânica**, Porto Alegre, v. 71, n. 3, p. 222-229, 2016.

NICODEMO, M. L. F.; PORFIRIO, V.; SANTOS, P. M.; VINHOLIS, M. M. B.; FREITAS, A. R.; CAPUTTI, G. **Desenvolvimento Inicial de Espécies Florestais em Sistema Silvopastoril na Região Sudeste**. 2009. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37616/1/Desenvolvimento-inicial-deespecies.pdf>> Acesso em: 17/06/2018.

NIU, G.; RODRIGUEZ, D. S.; CABRERA, R.; MCKENNEY, C.; MACKAY, W. Determining water use and crop coefficients of five woody landscape plants. **Journal of Environmental Horticulture**, v. 24, n. 3, p. 160-165, 2006.

NÓBREGA, R. S. A.; VILAS BOAS, R. C.; NÓBREGA, J. C. A.; PAULA, A. M.; MOREIRA, F. M. S. Utilização de biossólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 239-246, 2007.

OLIVEIRA, L. M.; DAVIDE, A. C.; CARVALHO, M. L. M. Avaliação de métodos para quebra da dormência e para a desinfestação de sementes de canafístula (*Peltophorum dubium* (Sprengel) Taubert). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 597-603, 2003.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; SOUSA, J. F.; PICKLER, A. C.; LEAL, E. R.; MILHOMEN, C. C. Produção e tratamento de lodo de esgoto – uma revisão. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 16, p. 89, 2010.

PEPPER, I. L.; BROOKS, J. P.; GERBA, C. P. Pathogens in biosolids. **Advances in Agronomy**, Amsterdam, v. 90, p.1-41, 2006.

ROCHA, J. H. T.; BACKES, C.; DIOGO, F. A.; PASCOTTO, C. B.; BORELLI, K. Composto de lodo de esgoto como substrato para mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 33, n. 73, p. 27-36, 2013.

SANTOS, F. E. V.; KUNZ, S. H.; CALDEIRA, M. V. W.; AZEVEDO, C. H. S.; RANGEL, O. J. P. Características químicas de substratos formulados com lodo de esgoto para produção de mudas florestais. **Revista Brasileira Engenheira Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 9, p. 971–979, 2014.

SARMENTO, P.; GARCIA, R.; PIRES, A. J. V.; NASCIMENTO, A. S. Grãos de soja como fonte de urease na amonização do bagaço de cana-de-açúcar com uréia. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, p. 223-227, 2001.

SENA JÚNIOR, J. A.; BARBOSA, L. H. A.; CASAROLI, D.; EVANGELISTA, A. W. P.; COSTA, F. R. Crescimento de mogno africano submetido a diferentes níveis de irrigação por microaspersão. **Irriga**, Botucatu, v. 21, n. 3, p. 466 – 480, 2016.

SILVA, L. T. M. **Morfometria, qualidade do tronco e da copa de *Peltophorum dubium* (Spreng.) Taub. em povoamento florestal no estado do Rio Grande do Sul**. Dissertação 2007. 76f. (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2007.

SHIMIZU, J. Y.; GARRIDO, L. M. A. G.; GARRIDO, M. A.; CARVALHO, P. E. R.; CARPANEZZI, A. A. Variações inter e intrapopulacionais em canafístula. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Curitiba, n. 14, p. 19-27, 1987.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

TATAGIBA, S. D.; XAVIER, T. M. T.; TORRES, H.; PEZZOPANE, J. E. M.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Determinação da máxima capacidade de retenção de água no substrato para produção de mudas de eucalipto em viveiro. **Floresta**, Curitiba, v. 45, n. 4, p. 745-754, 2015.

THEBALDI, M. S.; LIMA, L. A.; SILVA, L. A. C.; COLARES, M. F. B.; LIMA, P. L. T. Eficiência de sistemas de irrigação em mudas de espécies florestais nativas produzidas em tubetes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 2, p. 401-410, 2016.

THOMAZ-SOCCOL, V.; PAULINO, R. C.; PEREIRA, J. T.; CASTRO, E. A.; COSTA, A.O., HENNIG, L.; ANDREOLI, C. 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**. FEPAF: Botucatu, p. 83–111. 2010.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; COLETOMBI, R. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, Lavras, v. 20, n. 2, p. 293-302, 2014.

TRIGUEIRO, R. M.; GUERRINI, I. A. utilização de lodo de esgoto na produção de mudas de Aroeira-pimenteira. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 38, n. 4, p. 657-665, 2014.

VENCE, Lilia Beatriz. Disponibilidad de agua-aire en sustratos para plantas. **Ciencia del Suelo**, Buenos Aires, v. 26, p. 105-114, 2008.

WENDLING, I.; GATTO, A. **Substratos, adubação e irrigação na produção de mudas**. Viçosa: Aprenda Fácil; 2002. 145 p.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 209-220, 2007.