

FULVIO CAVALHERI PARAJARA

Compostagem de resíduos orgânicos e a influência da utilização do composto sobre a produção de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., visando ao uso em restauração ecológica de área degradada

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

SÃO PAULO

2020

FULVIO CAVALHERI PARAJARA

Compostagem de resíduos orgânicos e a influência da utilização do composto sobre a produção de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., visando ao uso em restauração ecológica de área degradada

Tese apresentada ao Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Doutor em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, na Área de Concentração de Plantas Vasculares em Análises Ambientais.

ORIENTADOR: PROF. DR. LUIZ MAURO BARBOSA

SÃO PAULO

2020

Ficha Catalográfica elaborada pelo **NÚCLEO DE BIBLIOTECA E MEMÓRIA**

P222c Parajara, Fulvio Cavalheri
Compostagem de resíduos orgânicos e a influência da utilização do composto sobre a produção de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., visando ao uso em restauração ecológica de área degradada / Fulvio Cavalheri Parajara – São Paulo, 2020.
85p.; il.

Tese (Doutorado) -- Instituto de Botânica da Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente, 2020.
Bibliografia.

1. Composto orgânico. 2. Cedro. 3. Produção de mudas. I. Título.

CDU: 631.53.03

Dedico:
aos meus pais, Maria Rita e
Germano, que sempre me
incentivaram na busca pelo
crescimento.

*“A nossa ciência, comparada à
realidade, é primitiva e infantil - e,
mesmo assim, é a coisa mais preciosa
que temos” (Albert Einstein).*

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luiz Mauro Barbosa, pela dedicação e orientação durante esta pesquisa, por acreditar nos conceitos deste estudo e acima de tudo pela amizade.

Ao Instituto de Botânica de São Paulo e ao programa de pós-graduação, por, possibilitarem que esta pesquisa torna-se um diferencial em minha carreira acadêmica e profissional.

Aos diretores da empresa Ecomark Indústria e Comércio de Fertilizantes Especiais, pelas oportunidades de crescimento profissional e pelo apoio desde o início deste projeto.

Ao professor Hilton Thadeu Zarate do Couto, pela dedicação, presteza, amizade e por todo apoio no delineamento e análises do trabalho.

Aos pesquisadores do Instituto de Botânica, Cláudio José Barbedo, Domingos Sávio Rodrigues, Nelson Augusto dos Santos Junior, José Marcos Barbosa, Kátia Mazzei, pela amizade e conselhos no exame de qualificação.

Agradeço por toda amizade e a pela ajuda, sem a qual este trabalho não seria possível, ao Abeb Moraes, Everton da Silva Moura, Matheus Marcom Quarcioni, Nathália Leite e Letícia Frare.

Aos funcionários da Ecomark, Alexandre Varandas, Naila Aline Bom, Carolina P. Silva e Flávia Stalh, pelo apoio oferecido durante todo o período desta pesquisa.

Ao Osvaldo Figueiredo, Marco Antônio, Paulo Lodgero, Flávia Avaristo e Everaldo Alcântara pela amizade, apoio e companheirismo.

Em especial, agradeço à Cilmar Augusto e Elenice Eliana Teixeira, pela grande amizade, incentivo, dedicação e companheirismo ao longo dos anos....e Elenice, agradeço pela revisão ortográfica.

Ao Tiago e à Karina, pela grande amizade e companheirismo, e por, em 2007 terem me incentivado a participar a fazer os cursos de pós-graduação e me envolver em todos os projetos conduzidos no CERAD, durante estes anos.

A todos os meus familiares, especialmente ao Tio Gilson e Tia Íris, pelos conselhos e ensinamentos.

À Mel, Antônio, Vinícius e Lara, por todo o apoio, compreensão e amizade.

Ao meu “irmão” Flávio (*in memoriam*) por sua amizade incomparável em nossas infâncias.

À Cláudia pela forma especial e carinhosa de apoio e, ainda, por toda compreensão durante a fase final deste projeto.

À Fabiana, pelos textos traduzidos e por acreditar no meu potencial e nunca negar uma palavra de incentivo.

Aos meus pais, Maria Rita e Germano, por todo amor e carinho que recebi. Mãe, seu cuidado e dedicação me auxiliaram a sempre seguir em frente. Pai, sua presença significou segurança, amizade e certeza de que não estou sozinho nessa caminhada.

A Deus, que iluminou meu caminho e pela oportunidade concedida.

Sumário

Lista de tabelas	ix
Lista de figuras	x
Lista de Abreviaturas	xi
Resumo.....	xii
Abstract	xiii
1. Introdução	1
2. Fundamentação teórica	5
2.1. Compostagem.....	5
2.2. Nutrição de Espécies Nativas.....	13
3. Sobre a Tese.....	21
4. Objetivos.....	22
4.1. Objetivo Geral.....	22
5. Referência Bibliográficas	23
Capítulo 1. Tratamento Sustentável de Resíduos Sólidos Orgânicos de Diferentes Origens pelo Processo de Compostagem em Larga Escala	32
Introdução	34
Materiais e métodos	35
Resultados e discussão	40
Conclusões	46
Referências.....	47
Capítulo 2. Crescimento de <i>Cedrela fissilis</i> Vell. em função do uso de condicionador de solos como substrato.	51
Introdução	53
Materiais e métodos	55
Resultados e discussão	59
Conclusões	65
Referências.....	66
6. Conclusão	72

Lista de tabelas

Tabela 1. Peso em toneladas de cada resíduo utilizado na implantação dos diferentes tratamentos utilizados.	36
Tabela 2. Média dos parâmetros agronômicos nitrogênio (%), carbono orgânico (%), relação carbono nitrogênio (C/N), ph, CTC (mmolc/Kg), relação CTC/C.	41
Tabela 3. Média dos parâmetros agronômicos capacidade de retenção de água (%), umidade (%), fósforo (%) e potássio (%).	44
Tabela 4. Resumo da análise de variância para características de altura, número de folhas e tamanho de raiz, para mudas de <i>Cedrela fissilis</i> Vell., plantadas em vasos com diferentes tipos de substrato.	59
Tabela 5. Resumo da análise de variância para as características morfológicas e para os índices de qualidade de mudas de <i>Cedrela fissilis</i> Vell., plantadas em vasos com diferentes tipos de substrato, avaliados 180 dias após o plantio.....	61

Lista de figuras

Figura 1. Diferentes resíduos utilizados na pesquisa: (A) Recebimento do Lodo de ETE; (B) terra diatomácea; (C) cinzas de biomassa; (D) sobra de alimentos; e, (E) podas sendo trituradas.	37
Figura 2. Homogeneização dos resíduos após pesagem e recebimento com uso de equipamento específico para o processo.....	38
Figura 3. Montagem da leira estática após a homogeneização dos resíduos.	38
Figura 4. Sistema de aeração forçada utilizado durante 60 primeiros dias do processo de compostagem.	39
Figura 5. Revolvimento mecânico no pátio de cura visando a estabilização e humificação do composto orgânico	40
Figura 6. Composto orgânico obtido pelo tratamento 1 e utilizado como substrato para mudas de cedro.	56
Figura 7. Mudas de <i>Cedrela fissilis</i> Vell., identificadas e acondicionadas em vasos plásticos sob bancada metálica.	57
Figura 8. Raízes limpas e prontas para coleta de dados de tamanho, massa úmida e massa seca. ...	58
Figura 9. Estufa de circulação forçada preparada secagem das plantas estudadas.....	58

Lista de Abreviaturas

AF - Área foliar

C/N - Relação entre carbono e nitrogênio

cm³ - Centímetros cúbicos

CO₂ - Dióxido de carbono

CRA - Capacidade de retenção de água

CTC - Capacidade de troca de cátions

CTC/C - Relação entre capacidade de troca de cátions e carbono

cv - Cavalos-vapor

DC - Diâmetro do colo da planta

ETE – Estação de tratamento de efluentes

H - Altura da parte aérea da planta

H/DC - Razão entre altura e diametro de colo da planta

H_f - Altura da planta no final do experimento

H_i - Altura da planta no início do experimento

IN - Instrução normativa

IQD -Índice de Qualidade de Dickson

K - Potássio

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

mmolc/kg - Milimol de carga por quilo

MO - Matéria orgânica

MSPA - Massa seca da parte aérea da planta

MSPA/MSR - Razão de massa seca da parte aérea e massa seca de raízes das plantas

MSR - Massa seca de raiz

MST - Massa seca total da planta

N - Nitrogênio

NF -Número de flohas

N_{Ff} - Número de folhas no final do experimento

N_{Fi} - Número de folhas no início do experimento

P - Fósforo

pH - Potencial hidrogeniônico

PNRS - Política Nacional de Resíduos Sólidos

SDA - Secretaria de Defesa Agropecuária

TR - Tamanho da raiz

Resumo

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade do composto orgânico produzido pelo processo de compostagem, obtido a partir de diferentes composições de resíduos orgânicos, de diferentes origens como matéria prima, para uso como substrato orgânico a ser testado no crescimento inicial de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (cedro-rosa), visando à produção de espécies nativas destinadas ao uso em plantios heterogêneos para restauração ecológica de áreas degradadas. Para tanto, foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro para executar o processo de compostagem dos resíduos orgânicos em escala industrial, pelo sistema de aeração forçada, utilizando como matéria prima resíduos de lodo de ETE de indústria de alimento, terra diatomácea do processo de filtragem da produção de óleos vegetais; cinzas de biomassa, sobras do preparo de alimentos e alimentação de restaurantes industriais e, ainda, resíduos de podas de árvores e jardins, em diferentes misturas, totalizando 15 tratamentos e três repetições. Durante a condução do processo, foi realizado o monitoramento diário da temperatura das leiras, como indicador do processo de compostagem. Os parâmetros avaliados para classificação dos compostos orgânicos foram percentual de nitrogênio total, carbono orgânico, relação C/N, pH, capacidade de troca de cátions (CTC), relação CTC/C, CRA, e umidade. O segundo experimento teve como objetivo testar cinco compostos orgânicos, obtidos a partir do primeiro experimento e escolhidos com base no melhor teor de carbono orgânico, tendo sido selecionados os seguintes compostos, com misturas de: T1) 50% Lodo de ETE + 25% sobras de alimentos + 25% de podas trituradas; T2) 50% Lodo de ETE + 25% terra diatomácea + 25% de podas trituradas; T3) 50% Lodo de ETE + 25% cinzas de biomassa + 25% de podas trituradas; T4) 50% terra diatomácea + 25% sobras de alimentos + 25% podas trituradas; e T5) 50% cinzas de biomassa + 25% sobra de alimentos + 25% podas trituradas. Para avaliação dos resultados, adotaram-se os seguintes parâmetros morfológicos: altura, número de folhas, tamanho de raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total, diâmetro de colo, a razão entre altura e diâmetro de colo, a razão entre massa seca de parte aérea e raízes e, ainda, o índice de qualidade de Dickson. Nesta pesquisa, verificou-se que o melhor crescimento e qualidade de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (cedro-rosa), produzidas em viveiro, foram obtidos com T1, provavelmente devido à maior presença de carbono orgânico. Com base nos resultados obtidos, os compostos obtidos em todos os tratamentos do primeiro experimento podem ser classificados com condicionador de solos e os compostos selecionados para o segundo experimento permitiram o crescimento de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., com qualidade para plantio em áreas de restauração ecológica.

Palavra-chave: composto orgânico, substrato, cedro, produção de mudas.

Abstract

Abstract - This research aimed to evaluate the quality of the organic compound produced by the composting process, from different food residue compositions from different raw material, for use as an organic substrate and to be tested in the early growth of rose cedar seedlings. (*Cedrela fissilis* Vell.). The final objective was analyse the production of native species in heterogeneous plantations for ecological restoration of degraded areas. For this, two experiments were carried out. The first one performed the process of chemical waste composition on an industrial scale, by the forced aeration system, using as raw material the sludge from the food industries, diatomaceous earth from the filtration process of vegetable oil production; biomass ashes, leftovers from food preparation from industrial restaurants, and residues from tree and garden pruning, in different mixtures, totaling 15 interventions and three repetitions. During the conduction of the process, the daily temperature monitoring of the windrows was measured, as an indicator of the composting process. The classification parameters for the organic compounds were: total nitrogen, organic carbon, C/N ratio, pH, cation exchange capacity (CEC), CEC/C ratio, water holding capacity and moisture. The second experiment aimed to test five compounds from the first experiment, chosen based on the best organic carbon content. The compost mixtures chosen were: T1) 50% ETE sludge + 25% food leftovers + 25% shredded pruning; T2) 50% ETE + 25% diatomaceous earth + 25% crushed pruning; T3) 50% ETE sludge + 25% biomass ash + 25% crushed pruning T4) 50% diatomaceous earth + 25% leftover food + 25% crushed pruning; and T5) 50% biomass ash + 25% leftover food + 25% shredded pruning. To evaluate the results of them, the following morphological parameters was monitored: height, number of leaves, root size, shoot system dry mass, root dry mass, total dry mass, neck diameter, a ratio between neck height and diameter, a ratio between dry mass of shoots and roots, and still, Dickson quality index. In this research, it was found that the best compound for growth and quality of nursery-grown cedar seedlings were T1, probably due to the higher presence of organic carbon.

Keywords: organic compost, substrate, cedar, seedling production

1. Introdução

As intervenções do homem, visando a melhorar a proteção dos recursos naturais e a função ambiental das áreas degradadas por práticas danosas de uso e ocupação dos solos, iniciaram muito antes de se pensar em qualquer conceito de restauração ecológica, mesmo antes de se utilizarem termos específicos para esta atividade, por meio de ações intuitivas, sem baseamento científico, voltadas para resolver de forma prática o problema ambiental (Brancaion *et al.*, 2015)

De acordo com Engel e Parrota (2003), a restauração ecológica é a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais.

As técnicas de restauração de ecossistemas degradados geralmente incluem a eliminação da fonte de distúrbios, intervenções no solo, eliminação ou manejo de espécies invasoras e introdução de espécies desejadas (Fonseca *et al.*, 2017).

Uma das primeiras ações a serem adotadas para a recuperação de áreas degradadas consiste na recuperação da qualidade dos solos, seguida da condução ou revegetação do local, como forma de propiciar o estabelecimento da vegetação nativa e, na maior parte das ações de restauração, os procedimentos específicos para a atividade dependem essencialmente das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, que deve possuir condições ideais ou minimamente adequadas para o desenvolvimento das plantas.

Os processos relacionados com a degradação do solo são: erosão, compactação, acidificação, salinização, esgotamento de nutrientes, exaustão do solo, diminuição do carbono orgânico e da biodiversidade. Tais processos podem afetar outros componentes do meio físico, como clima, vegetação e água, caracterizando, assim, as áreas degradadas (Lal, 1998)

Neste contexto, para uma eficiente recomposição da vegetação e desenvolvimento de novas tecnologias e formas de manejo para a recuperação de áreas degradadas, é necessária a intensificação de pesquisas que contemplem, entre outras linhas, a interação dos conhecimentos sobre a físico-química e microbiologia do solo, a fenologia, a ciclagem de nutrientes e a autoecologia das espécies vegetais (Moreira, 2004).

Um aspecto importante que merece destaque é o fato de que uma reabilitação pode ser convertida em restauração, ou seja, uma área degradada pode inicialmente ter o solo recuperado com um projeto de reabilitação e, posteriormente, tornar-se um ecossistema similar ao original, através da adoção de técnicas adequadas de manejo vegetal (Martins, 2017).

Do ponto de vista do manejo e fertilidade do solo, a matéria orgânica presente nos solos é de imensa importância para inúmeras de suas propriedades, como a estabilidade de agregados e estrutura do solo, retenção de água, capacidade de troca de cátions (CTC), reciclagem de nutrientes, dentre outras.

A adição de matéria orgânica ao solo tem por objetivo melhorar suas características físicas, químicas e biológicas, permitindo um adequado desenvolvimento das plantas, e pode ser obtida pela utilização de adubação verde, a adubação com esterco, restos de culturas, húmus de minhocas, entretanto, uma das formas mais eficientes é a aplicação de composto orgânico de boa qualidade, obtido pelo processo de compostagem de resíduos orgânicos.

Parte da degradação dos solos está diretamente ligada à fração dos resíduos orgânicos urbanos e industriais que, quando dispostos inadequadamente, trazem prejuízos consideráveis ao solo, à água e até mesmo ao ar, além de tornarem-se abrigos e fontes de alimentos para vetores de importância epidemiológica.

A compostagem ocorre naturalmente no ambiente sendo referida como a degradação de matéria orgânica, o termo compostagem diz respeito a esta decomposição, porém está associada com a manipulação do material pelo homem, que através da observação do que acontecia na natureza desenvolveu técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos que atendessem rapidamente as suas necessidades.

O processo de compostagem atualmente é uma das melhores formas de obter-se a matéria orgânica estabilizada e necessária aos solos, a partir do reaproveitamento da fração orgânica de resíduos, sejam eles de origem urbana, industrial, agrícola e florestal, uma vez que a destinação final destes resíduos no país embora, tenha melhorado nos últimos anos, ainda se configura como um cenário totalmente inadequado, onde mais de 50% dos resíduos gerados tem destinação inadequada.

Para que este cenário seja revertido, o país possui uma Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída sob a forma de lei, com o objetivo principal de redução dos resíduos através do tratamento e sua reutilização, sendo que apenas os rejeitos ou materiais inservíveis, a lei determina uma destinação adequada a eles, sem agredir o meio ambiente. Com isso, ocorrerá um aumento da ação de reciclagem no país e uma diminuição do uso de recursos naturais, como água e energia, na produção de novos produtos.

A compostagem, atividade definida como um processo biológico de decomposição controlada de materiais orgânicos por microorganismos, com produção de dióxido de carbono, água, minerais e uma matéria orgânica estabilizada, semelhante ao solo, denominada composto,

material rico em húmus e nutrientes minerais, podendo ser utilizado como fertilizante (Kiehl, 2012).

O termo compostagem é definido como um processo aeróbio controlado, desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: a primeira quando ocorrem as reações bioquímicas mais intensas, predominantemente termofílicas, e a segunda fase, chamada de maturação ou cura, onde ocorre o processo de humificação da matéria orgânica decomposta.

O termo composto orgânico pode ser aplicado ao material compostado, estabilizado e higienizado, que é benéfico para a produção vegetal, sendo objeto de controle de qualidade pela legislação brasileira, que determina que os produtos resultantes deste processo de compostagem devem ter registro no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), assim como os estabelecimentos produtores também devem ser registrados (Brasil, 2004), sendo que os compostos orgânicos, produzidos por este processo, devem ser classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas em sua produção (Brasil, 2013).

A legislação permite a classificação do material resultante da compostagem em diferentes tipos de produtos, sendo o principal deles o fertilizante orgânico composto, definido como produto obtido por processo físico, químico, físicoquímico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas.

O fertilizante orgânico composto possui macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), assimilados em grandes quantidades pelas plantas e, em muitos casos, também micronutrientes (ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros), necessários em menores quantidades. O que define a quantidade de nutrientes no composto orgânico é a diversidade de matérias primas que compuserem a mistura inicial do material a ser compostado. Estes nutrientes, ao contrário do que ocorre com os adubos sintéticos, são liberados lentamente, realizando a tão desejada "adubação de disponibilidade controlada", em outras palavras, proceder à adubação com fertilizantes orgânicos permite que as plantas absorvam os nutrientes de que precisam, de acordo com as suas necessidades, ao longo de um tempo maior do que teriam para aproveitar um adubo sintético e altamente solúvel, que é facilmente lixiviado pelas chuvas e acaba causando eutrofização de corpos d'água (Parajara, 2014).

Assim, este trabalho foi dividido em dois capítulos, sendo o primeiro dedicado a investigações da compostagem de resíduos orgânicos em escala industrial e o segundo, ao uso do composto orgânico obtido no desenvolvimento de mudas de árvores nativas.

A hipótese testada, neste trabalho, foi embasada nas seguintes perguntas:

(i) O uso da técnica compostagem, como forma de reciclagem e reaproveitamento de resíduos industriais, é um método eficiente?

(ii) A utilização de compostos orgânicos promove melhores condições de desenvolvimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell., e pode ser adotado como substratos para a produção de mudas desta espécie?

2. Fundamentação teórica

2.1. Compostagem

As primeiras tentativas de compostagem em larga escala no país foram feitas com as “Células Becaris”, um processo anaeróbico de confinamento dos resíduos orgânicos com produção de gases, odores altamente fétidos, larga geração de chorume, excessiva perda de nutrientes da massa de compostagem e grande atração e proliferação de vetores. Em consequência disto, obteve-se a produção de um composto orgânico sem humificação, com toxinas e impróprio para o uso. Em seguida, veio o Sistema Dano de Compostagem (Biodigestores). Mesmo nos raros casos em que o biodigestor funcionava com critérios técnicos e manutenção, que permitissem o correto funcionamento do controle interno da aeração e temperatura da massa de compostagem, o composto produzido era de péssima qualidade. (Pereira Neto, 2007).

Apesar de terem se passado mais vinte anos desta constatação, percebemos, infelizmente, que a situação permanece praticamente inalterada. Ou seja, o mesmo problema de falta de capacitação técnica e a ingerência nos projetos implantados levaram à descontinuidade destes e à dificuldade para a implantação de novas unidades de compostagem no país, gerando, com isso, prejuízos econômicos e danos ao ambiente, devido à destinação inadequada dos resíduos.

A partir do final da década de 1980, foram lançados os primeiros programas de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos sólidos no Brasil, visando a tornarem-se alternativas inovadoras para a redução da geração dos resíduos sólidos. Desde então, comunidades organizadas, indústrias, empresas e o poder público têm sido mobilizados e, mais recentemente, com a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2010), obrigados a separar e classificar os resíduos nas suas fontes produtoras, o que representa um avanço no que diz respeito ao tratamento e destinação dos resíduos sólidos e, conseqüentemente, na melhoria das condições ambientais.

O agravamento das condições ambientais aponta, como caminho a ser seguido, a busca de uma consciência ética coletiva, garantindo o direito a todas as gerações de viver em um ambiente equilibrado, promovido pelo desenvolvimento sustentável. Para se atingir esse objetivo, é necessário pesquisar soluções adequadas, buscando inovações tecnológicas que reparem problemas anteriores e previnam novos problemas.

No Brasil, a promulgação da Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, após anos de discussões no Congresso Nacional, determina que os três entes federados (União, Estados e Municípios), conjuntamente com os grandes geradores

de resíduos e a sociedade civil, implantem soluções para os graves problemas advindos da má gerência dos resíduos durante nossa história.

Apesar dos resíduos agroindustriais e industriais apresentarem elevado potencial poluente, não podem ser considerados como lixo, pois possuem valor econômico agregado e podem ser tratados e reaproveitados na produção agrícola. Em termos legais, a Lei 12.305/2010 sujeita os responsáveis pela geração de resíduos sólidos à obrigatoriedade de uma gestão e gerenciamento, observando a seguinte ordem de prioridade: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (Valente *et al.*, 2009).

A compostagem pode ser definida como uma biooxidação aeróbica exotérmica de substrato orgânico heterogêneo, no estado sólido, caracterizada pela produção de dióxido de carbono, água, liberação de substâncias minerais e formação de matéria orgânica estável (Kiehl, 2012).

No entanto, o emprego do processo de compostagem, no Brasil, é ainda bastante restrito, quando comparado às destinações ao aterro sanitário, principalmente pelo fato de existirem poucas plantas industriais de compostagem devidamente regulamentadas e com capacidade técnica para tratamento dos resíduos orgânicos. Soma-se a isso o fato de terem ocorrido experiências negativas no passado, devido ao alto grau de empirismo utilizado no controle e avaliação do processo de compostagem, por falta de conhecimento técnico mais aprofundado (Akutsu *et al.*, 2009).

Existem pesquisas, em pequenas escalas, visando ao processo de compostagem de resíduos, principalmente agrícolas, e alguns poucos casos de resíduos urbanos. Entretanto, a reprodução em grandes escalas pode não ser tarefa muito simples, uma vez que exige considerar todas as variáveis e, principalmente, as condições ambientais em que o processo será conduzido (Petiot e Guardia, 2004).

Uma das principais variáveis está associada com a qualidade da composição de resíduos, considerando que em alguns casos pode ser extremamente variada, dificultando a obtenção e fixação de parâmetros para o processo de compostagem. Além destas questões, outros parâmetros interferem no processo de compostagem, tais como a umidade, oxigenação, temperatura, relação entre carbono/nitrogênio (C/N) inicial e final, proporção de tamanho de partícula e homogeneização de resíduos. Estes aspectos devem ser constantemente monitorados em um processo de compostagem, pois permitem identificar e acompanhar o desenvolvimento da atividade biológica e, conseqüentemente, o processo de compostagem (Herbets *et al.*, 2005).

Segundo Akutsu *et al.* (2009), a utilização de técnicas que não disponham de critérios, parâmetros e índices consolidados para monitoramento, no que se refere à avaliação de sua performance e controle operacional, apresenta incertezas e falta de confiabilidade, contribuindo para que não exista avanço no processo de compostagem, principalmente em larga escala.

Compostagem de lodos, principalmente sanitários, tem sido praticada em muitos países, de modo que os nutrientes e matéria orgânica no lodo de esgoto possam ser benéficamente utilizados para cultivar plantas. No entanto, no Brasil, as aplicações agrícolas destes compostos orgânicos são legalmente restritas, devido ao alto risco de presença de patógenos e potencial contaminação do solo por metais pesados (Chiang *et al.* 2007). Entretanto, no Brasil, inúmeras empresas, principalmente no segmento de produção de papel e de alimentos processados, utilizam águas em seus processos produtivos, que são devidamente tratadas em estações de tratamento biológico, gerando lodos sem que haja a mistura com efluentes sanitários.

A compostagem tem-se apresentado como uma forma eficiente de se obter a biodegradação controlada destes tipos de resíduos, com alta carga orgânica, podendo ser utilizada desde que em um processo controlado, caracterizado pela decomposição aeróbica da matéria orgânica através dos microrganismos (Inácio e Miller, 2009).

O produto resultante da compostagem destes resíduos pode ser utilizado, de forma segura, como fertilizante ou condicionador de solos, tanto na agricultura como na recuperação de áreas degradadas, e quando produzido em grandes quantidades, este composto pode ser comercializado, desde que atenda às exigências mínimas exigidas pelo Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (Brasil, 2004).

A decomposição da matéria orgânica pelo processo de compostagem depende de diversos fatores que, quando monitorados, possibilitam um aumento na rapidez do processo. Todavia, essa influência não ocorre apenas no tempo de decomposição, mas também na maturação e qualidade do produto final, ou seja, os monitoramentos destes parâmetros auxiliam a detecção de possíveis problemas no processo de compostagem. Destes parâmetros, destacam-se principalmente aqueles relacionados à inibição e/ou desenvolvimento da atividade microbiana, tais como a umidade, a temperatura, o pH, a relação C/N, a aeração e a granulometria (Pedrosa *et al.* 2013).

Segundo Brito (2008), a decomposição de qualquer material orgânico está diretamente relacionada com as suas características físicas, químicas e biológicas. Neste sentido, para produção de um composto com mistura de diferentes resíduos, a determinação da mistura ideal (quantidade de cada um dos resíduos na pilha) passa pelo conhecimento adequado de cada um destes (Fernandes e Chohfi, 2010). Logo, torna-se essencial, para a produção de um composto

orgânico de qualidade e que atenda os padrões exigidos por lei, que cada resíduo que venha a ser utilizando tenha suas principais propriedades físicas e químicas caracterizadas.

No Brasil, existem poucas plantas de compostagem em funcionamento, sendo a maioria caracterizada por instalações do tipo centralizadas e mecanizadas, que processam os resíduos oriundos muitas vezes de coleta misturada. Nestes casos, como os resíduos chegam misturados, tem-se um produto final de baixa qualidade e baixa eficiência do ponto de vista agrônomo (presença de materiais indesejáveis e metais pesados). Considerando o cenário predominante da compostagem no Brasil, a proposta do trabalho foi investigar se a compostagem dos resíduos orgânicos, previamente separados na origem, contribui para melhorar a qualidade do composto. Para tanto, os resultados foram comparados aos parâmetros de qualidade estabelecidos pela legislação brasileira (Massukado, 2008).

Outro parâmetro importante na avaliação da qualidade do composto final é a condutividade elétrica, pois serve como indicativo dos possíveis níveis de fitotoxicidade. Segundo Kiehl, 2012, elevados valores de condutividade elétrica e a alta concentração de ácidos orgânicos inibem a germinação de sementes.

Apesar dos estudos existentes sobre o assunto, percebe-se a necessidade de pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem, a fim de produzir compostos com melhor qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas e também como condicionadores do solo. Neste contexto, Kiehl (2012) destaca que o sucesso da comercialização do composto é dependente da matéria-prima utilizada e, principalmente, da homogeneização inicial ao processo de compostagem.

Emerson (2004) afirmou que qualidade dos resíduos agrícolas é aceitável e que o problema concentra-se nos resíduos de origem urbana e industrial, que podem ser contaminados por produtos químicos, ou constituem-se em materiais grosseiros. Porém, Kiehl (2012) argumenta que fertilizantes orgânicos com uma baixa contaminação por metais pesados, inadequados para a adubação de plantas ou de seus produtos comestíveis, podem ser empregados na adubação de plantas ornamentais e de plantas destinadas à recuperação de solos degradados.

Como citado anteriormente, a compostagem de resíduos orgânicos é afetada pela interdependência e pelo inter-relacionamento de diversos parâmetros e estabelecer condições ótimas para a homogeneização dos resíduos é bastante difícil, uma vez que cada material a ser compostado apresenta particularidades. Desta forma, a mistura de vários tipos de resíduos orgânicos é a maneira mais adequada de tentar balancear a relação C/N e a granulometria que, além dos nutrientes necessários para o desenvolvimento microbiano, favorecerá também a

homogeneização da massa em compostagem, obtendo assim uma melhor porosidade, o que acarretará uma menor compactação, devido à maior capacidade de aeração. Sendo assim, é de extrema importância a análise físico-química da mistura inicial.

A decomposição da matéria orgânica no processo de compostagem é realizado por uma população de microrganismos diversificada, com destaque para fungos e bactérias, que se sucedem ao longo do processo (Pereira Neto, 2007). Este processo ocorre em duas fases distintas (mesófila e termófila), conforme descrito por Andreoli *et al.* (2002), onde no início do processo há um forte crescimento de organismos mesófilos. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população dos organismos mesófilos diminui e os microrganismos termófilos proliferam com mais intensidade. Estes microrganismos realizam uma intensa e rápida degradação da matéria orgânica, ocasionado uma elevação da temperatura, o que possibilita a eliminação dos microrganismos patogênicos.

Quando a matéria orgânica é degradada, a temperatura reduz devido à diminuição da atividade biológica da população de microrganismos termófilos, possibilitando uma nova proliferação de microrganismos mesófilos. Nesta nova fase mesófila, chamada de maturação, a maior parte da matéria orgânica já foi degradada, ocorrendo o processo de humificação da matéria orgânica.

Por se tratar de um processo biológico, a compostagem deve ser monitorada com a utilização de alguns parâmetros indicativos da perfeita eficiência do processo. Os principais parâmetros aqui abordados influenciam diretamente na atividade microbiológica do processo, sendo eles a aeração, temperatura, umidade e relação carbono/nitrogênio.

Aeração: conforme já mencionado, por ser um processo biológico, a demanda de oxigênio na compostagem é fundamental para o desenvolvimento dos microrganismos e sua ausência poderá tornar-se fator limitante para a atividade microbiana, acarretando um prolongamento do ciclo de compostagem ou, até mesmo, ocasionando a anaerobiose no processo, atraindo vetores, liberando mau odor e até mesmos gases inflamáveis como metano e fosfina, capazes de criar combustão na massa de resíduos.

A circulação do oxigênio na leira de material orgânico é diretamente afetada pela estrutura e umidade da massa e, principalmente, pela tecnologia de compostagem utilizada, sendo que, na fase inicial, devido à maior degradação da matéria orgânica, a demanda por oxigênio é bem maior, pois a atividade microbiana é muito intensa nesta fase, necessitando assim uma maior atenção ao processo neste período (Fernandes e Silva, 1999).

Temperatura: este é um dos parâmetros mais importantes a serem monitorados no processo de compostagem, pois permite o acompanhamento do equilíbrio do processo, com o

correto acompanhamento das fases mesófila e termófila do processo, e ainda, indicando a eliminação de microrganismos patogênicos.

A temperatura é importante principalmente no que diz respeito à rapidez do processo de biodegradação do material e à eliminação dos possíveis patógenos presentes, pois a manutenção da temperatura elevada (50 e 75°C) no início do processo, bem como com um tempo de exposição suficiente, é fundamental para a eliminação de algumas espécies (Valente *et al.*, 2009).

De acordo com Leite (2015), o processo de compostagem inicia-se com a presença de microrganismos mesófilos, que atuam na faixa de temperatura entre 25 e 45°C, por um curto período de tempo, sendo que, após poucos dias e com o aumento da degradação da matéria orgânica, ocorre o aumento da temperatura pelas reações exotérmicas do processo, atingindo uma faixa entre 45 e 65°C, onde os microrganismos termófilos atuam em detrimento aos organismos mesófilos. Temperaturas acima desta faixa devem ser evitadas, para que não ocorra a redução da presença de microrganismos, o que pode ocasionar um aumento no período no processo de compostagem.

Na fase seguinte do processo, a maturação do composto, ocorre a diminuição da atividade microbiana e, conseqüentemente, da temperatura do processo, que acontece em uma faixa de temperatura ambiente.

Kiehl (2012) destaca que as faixas de temperatura definem o predomínio de determinados grupos de microrganismos, sendo eles classificados em: criofílicos (temperatura ambiente ~ 25°C), mesofílicos (alço em torno de 30-45°C) e termofílicos (acima de 50°C). Kiehl (2004) ainda destaca que quando mantidas por longos períodos temperaturas superiores a 70°C torna-se reduzida a atividade dos microrganismos. Já valores em torno de 80°C resultam na paralisação do processo e risco de combustão espontânea do material compostado.

Umidade: de acordo com Ricci (2008), a água é fundamental na compostagem e o teor ótímo situa-se entre 50 e 60%, podendo sofrer alterações em função da estrutura da massa de material orgânico. Teores acima de 65% ocasionam a ocupação dos espaços vazios pela água em vez de ar, provocando a anaerobiose nestes locais. Com teores de umidade abaixo de 40%, ocorre a redução da atividade microbiana e, conseqüentemente, da velocidade da biodegradação da matéria orgânica. Durante o tempo de duração da compostagem, o teor de água poderá ser corrigido através de irrigações controladas.

Como há perdas de água devido à aeração, em geral, o teor de umidade do composto tende a diminuir ao longo do processo. Por isso, o teor de umidade é um dos parâmetros que

devem ser monitorados para que o processo de compostagem desenvolva-se satisfatoriamente (Fernandes e Silva, 1999).

Relação carbono/nitrogênio: Para que ocorra o processo de compostagem, os microrganismos utilizam o carbono, como fonte de energia, e o nitrogênio, para síntese de proteínas, sendo por este motivo que a relação C/N é considerada um dos indicadores que melhor caracteriza o equilíbrio do composto (Fernandes e Silva, 1999; Chen *et al.*, 2011; Iqbal *et al.*, 2015).

Diversos autores (Fernandes e Silva, 1999; Ricci, 2008; Kiehl, 2012; Leite, 2015) incluem a relação C/N ideal para a compostagem em 30:1, tanto a falta de qualquer um destes elementos pode diminuir a atividade microbiana. Se a relação C/N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se a relação C/N for muito elevada, os microrganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado.

De acordo com Kiehl (2012), o conhecimento da relação C/N inicial do processo e o monitoramento deste parâmetro durante a compostagem permitem identificar quando o composto orgânico atingiu a bioestabilização (relação C/N aproximada de 18:1) e, posteriormente, se o composto transformou-se no produto acabado ou humificado (relação C/N em torno de 10:1).

Devido ao processo de compostagem ser biológico, conforme já mencionado, a compostagem segue princípios simples, entretanto, os métodos de compostagem podem variar de acordo com as tecnologias de operação que possibilitam a adoção de sistemas simples e manuais, até sistemas complexos, altamente tecnificados, onde além dos parâmetros apresentados, outros são monitorados e controlados com precisão, como o tamanho das partículas dos resíduos e o pH.

Os processos de compostagem podem ser divididos em três grandes grupos: (i) sistema de leiras revolvidas, também conhecido como sistema “windrow”; (ii) sistema de leiras estáticas; e (iii) sistemas fechados, detalhados a seguir:

(i) Leiras revolvidas (windrow): é considerado o mais simples e que demanda menos investimento em estruturas e equipamentos, pois a mistura de resíduos orgânicos é disposta em leiras que são revolvidas mecanicamente sempre que detectada a necessidade, ou nos casos de compostagem em pequena escala, conforme periodicidade previamente estabelecida.

A aeração é feita no momento em que o composto entra em contato com a atmosfera rica em oxigênio, que permite suprir momentaneamente as necessidades dos microrganismos presentes, entretanto, conforme Fernandes e Silva (1999), o efeito do revolvimento é limitado

a algumas horas, sendo que o nível de oxigênio da leira, após este período, pode se aproximar de zero.

O maior problema a ser enfrentado no sistema de revolvimento mecanizado é a possível geração de odores fétidos no início do processo e durante a fase termofílica, quando os resíduos orgânicos não estabilizados podem apresentar mau cheiro, devido à degradação da matéria orgânica. A principal vantagem deste método é o baixo custo de investimento inicial, necessário para operação de uma planta de compostagem.

(ii) Leiras estáticas: neste sistema, a mistura dos resíduos orgânicos é acondicionada em leiras sobre uma tubulação perfurada, conectada a um equipamento industrial que possibilita a injeção de ar sob pressão ou por sucção, sendo que os equipamentos comumente chamados de ventiladores ou sopradores têm potência entre 1 e 5 cv, definidos de acordo com as características e volume dos resíduos a serem tratados. Estes equipamentos normalmente são ligados intermitentemente durante as fases mesófila inicial e termófila do processo.

Após a fase termófila, o material em fase de compostagem possui uma baixa demanda de oxigenação, sendo possível a adoção do método de revolvimento mecânico esporádico, para a maturação do composto.

(iii) Sistemas fechados: a compostagem realizada em sistemas fechados ou reatores biológicos possibilita o controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo de compostagem, sendo que em alguns casos, o ciclo da fase termófila é reduzido, recebendo a denominação de “compostagem acelerada”.

De acordo com as características dos resíduos e do tipo de equipamento, o tempo de detenção no reator biológico pode variar de 7 a 20 dias, o que faz com que o sistema demande menor espaço para sua implantação. A aeração é feita sob pressão, com monitoramento da taxa de aeração e temperatura, podendo-se adequá-las às necessidades do processo. Mesmo tendo uma fase termófila mais rápida e intensa, após seu final, o composto ainda deve passar por um período de maturação, tal como descrito para os sistemas anteriores, antes de ser utilizado (Fernandes e Silva, 1999).

Com base em estudos, Gonçalves *et. al.* (2000) concluíram que muitos resíduos provenientes de indústrias alimentícias ou de áreas urbanas, como o lixo orgânico ou o lodo de esgoto, os quais têm representado problemas graves de remoção e descarte, resultando em sérias agressões ecológicas ao ambiente, poderiam ser utilizados como fonte de matéria orgânica para plantações florestais, ou reflorestamentos com espécies nativas. Poggiani e Schumacher, (2000), comentam sobre a necessidade de ampliar e aprofundar estudos sobre a nutrição mineral e a ciclagem dos nutrientes em plantações florestais com espécies nativas, tendo em vista a

implantação de reflorestamentos para recuperação de áreas degradadas, ou mesmo o cultivo de essências nativas para produção de madeiras de lei.

O uso de resíduos industriais orgânicos na confecção de substratos para a produção de mudas tornou-se uma realidade no Brasil. Tal situação foi impulsionada pela alternativa de se reduzir custos de produção, além de minimizar a poluição gerada por indústrias (Oliveira *et al.*, 2014). Alguns substratos orgânicos vêm ganhando espaço no setor de produção de mudas, por serem subprodutos de outros processos industriais e apresentarem custo relativamente baixo, como a casca de arroz, o lodo de esgoto, a fibra de coco, bagaço de cana, tortas, entre outros.

Neste sentido, o presente trabalho tem como um de seus objetivos testar composições diversas de resíduos de origem industrial, avaliando os parâmetros químicos dos resíduos na composição das misturas, e constatar se os parâmetros físico-químicos do composto final atendem às exigências legais para comercialização.

2.2. Nutrição de Espécies Nativas

Se o ecossistema de uma área degradada apresenta baixa resiliência, o sucesso de uma restauração natural pode estar fadado ao fracasso e uma das opções para a recuperação da área é o plantio de mudas nativas. Entretanto, diversos fatores podem atrasar o desenvolvimento da restauração, como a qualidade das mudas e as condições químicas e físicas dos solos.

A crescente demanda pelo plantio de mudas, para recuperação de áreas degradadas, exige informações sobre a nutrição das espécies a serem utilizadas no plantio, entretanto, em função da grande variedade de espécies e em face da heterogeneidade dos solos nas regiões tropicais, são ainda incipientes os dados disponíveis sobre o comportamento de espécies nativas, no que diz respeito aos requisitos nutricionais.

Para que as mudas desenvolvam-se adequadamente, tanto em altura, como em produção de biomassa, é indispensável que o solo ou substrato do plantio estejam equilibrados nutricionalmente, ou seja, que os nutrientes necessários ao pleno desenvolvimento das mudas estejam disponíveis em quantidade adequada.

Dias *et al.* (2012) afirmaram que mudas com nutrição adequada ficam menos suscetíveis à ação de doenças e pragas, toleram melhor os períodos de secas e outros estresses. Com o objetivo de se garantir bom estado nutricional, a fertilização tem sido uma prática importante, pela possibilidade de fornecimento dos nutrientes necessários ao metabolismo das mudas (Gonçalves *et al.*, 2013). No entanto, para que seja realizada uma correta adubação, devem ser mais bem conhecidos os fatores que afetam a dinâmica dos nutrientes no solo e na planta, além das exigências nutricionais (Cruz *et al.*, 2011a). Tucci *et al.* (2009), afirmam que o teor de

nutrientes no substrato, principalmente fósforo, potássio e nitrogênio, têm grande influência na qualidade das mudas produzidas e no seu crescimento em campo.

No período inicial de desenvolvimento, as mudas plantadas acumulam fotoassimilados e nutrientes nas folhas, como forma de assegurar a formação de raízes, o que resulta em perda do vigor das plantas, podendo inclusive apresentar sintomas de deficiência de nutrientes. A utilização de compostos orgânicos no solo assegura uma melhor retenção de água e disponibilidade de nutrientes, possibilitando que a atividade fotossintética seja intensificada, com consequente aumento de formação das copas e sistema radicular, principalmente raízes finas ou secundárias, com função de absorção de água e nutrientes.

Neste estágio, devido à baixa competitividade nos fatores limitantes de crescimento, como luz, água e nutrientes, as plantas têm seu crescimento limitado pelas próprias condições fisiológicas e, principalmente, pela fertilização, devido à elevada taxa de absorção de nutrientes e atividade metabólica, e com isso podem aumentar o tempo de retenção das folhas e a eficiência fotossintética por unidade de área foliar, assim como aumento de peso como compensação da maior absorção de nutrientes.

O aspecto nutricional na produção de mudas deve ser considerado criteriosamente para que as mudas não venham a ter seu crescimento prejudicado pela falta ou desequilíbrio de nutrientes (Smarsi *et al.*, 2011).

O estudo de exigência nutricional das espécies nativas brasileiras é de extrema importância, para que ocorra índice satisfatório de sobrevivência e rápido crescimento das mudas em campo, uma vez que são insuficientes as informações para se determinar um programa de manejo de fertilização para essa classe de plantas, sobretudo para todos os macronutrientes. Ao se estudar o efeito dos minerais no crescimento, desenvolvimento e nutrição de mudas, é possível identificar aspectos importantes para o manejo de adubação, como se determinar qual elemento é o maior limitante para a espécie em questão, além de estabelecer doses adequadas para cada nutriente testado (Neves *et al.*, 2004; Cruz *et al.*, 2011c).

Na adubação convencional, são empregados compostos químicos de alta solubilidade e concentração, buscando fornecer o que as plantas necessitam para ótimo desenvolvimento, entretanto, neste sistema, o solo é tratado como simples substrato produtivo e não como um ambiente complexo, onde ocorrem inúmeras reações físicas, químicas e biológicas.

No plantio de mudas nativas, a aplicação de compostos orgânicos possibilita a introdução de nutrientes de maneira distinta dos adubos minerais, convencionalmente utilizados na maioria dos reflorestamentos. Na adubação orgânica, a dinâmica é diferente, a liberação dos nutrientes é gradual, o que permite reduzir as perdas. Além disso, é observado o aumento da

população de microrganismos, insetos e minhocas que podem ser úteis às plantas através de processos simbióticos, ou mesmo pela mineralização dos componentes orgânicos.

Além do aspecto agrônômico, é preciso ressaltar que a adoção de práticas agrícolas de cunho ecológico, onde a adição de matéria orgânica é um pilar importante, representa uma reorientação crítica ao processo de restauração de ambientes degradados. A produção de adubos orgânicos, normalmente, tem baixo custo, sendo ambientalmente correta, devido ao uso de recursos renováveis, o que simboliza a quebra da dependência existente entre os agentes restauradores e a utilização apenas de fertilizantes minerais.

Sob esse ponto de vista, a avaliação da fertilidade dos solos representa mais do que mensurar o teor de nutrientes disponíveis. Isto porque as interações entre o solo e as plantas compõem um universo mais complexo do que o simples fornecimento de nutrientes. No campo científico e tecnológico, é crescente o interesse pelo papel que a matéria orgânica exerce sobre a capacidade produtiva dos solos (Busato, 2008).

O composto orgânico é um dos materiais básicos mais utilizados na formulação de substratos, sendo muito comum o uso na produção de mudas de diversas espécies florestais (Delarmelina *et al.*, 2014). Esse substrato é formulado, em muitas ocasiões, por meio da mistura de produtos orgânicos e minerais, como a casca de arroz carbonizada, fibra de coco, vermiculita expandida e turfas. Os componentes presentes no substrato, assim como a proporção entre eles, são variáveis de acordo com a espécie, região, empresa, custo de obtenção, entre outros.

A textura do solo e o conteúdo de matéria orgânica (MO) têm sido amplamente reconhecidos como as principais características que influenciam fortemente a suscetibilidade do solo aos processos de degradação (Ding *et al.*, 2014). Um menor teor de MO resulta em uma menor qualidade física e química do solo, por exemplo, baixa estabilidade de agregados, baixa capacidade de retenção de nutrientes e água (McCoy e McCoy, 2009; Nasta *et al.*, 2009; Hejduk *et al.*, 2012; Martins Gomes *et al.*, 2018). Por outro lado, se o teor de MO no solo é aumentado, resulta na inibição dos processos de degradação. A MO tem efeitos benéficos nas propriedades físicas e químicas de um solo. A introdução de materiais orgânicos no solo causa uma redução na acidificação do solo e um aumento na capacidade de troca catiônica e no conteúdo de nutrientes, por exemplo, N, P, K e Mg (Gondek *et al.*, 2019).

A atividade microbiológica do solo é influenciada diretamente pelo aporte de MO, pois a matéria orgânica é fonte de carbono e energia para a biomassa microbiana do sistema edáfico. A biomassa microbiana do solo é definida como o componente vivo da matéria orgânica do solo, com exceção da macrofauna. A fração viva, geralmente, está entre 1 a 5% do total de MO,

sendo que os micro-organismos do solo têm papel fundamental nos processos de decomposição da matéria orgânica do solo (Araújo e Melo, 2012)

A matéria orgânica humificada apresenta propriedades importantes como a Capacidade de Troca Catiônica (CTC) que promove a adsorção de cátions, para depois cedê-los às raízes das plantas ou solução do solo (Kiehl, 2012); a formação de quelados na adsorção e no transporte de elementos metálicos, reduzindo a mobilidade dos metais pesados e, consequentemente, a sua absorção pelas plantas; e, a capacidade de retenção de nutrientes e água, devido à sua maior superfície específica.

O produto resultante do processo de compostagem é amplamente reconhecido como uma matéria orgânica que tem um impacto benéfico nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (Fichtner *et al.*, 2004; Aggelides e Londra, 2000; Hargreaves *et al.*, 2008). O composto melhora a estrutura do solo, o que causa uma diminuição na formação de crostas, escoamento superficial e erosão. Aumenta a porosidade do solo, a retenção de água e a condutividade hidráulica (Hargreaves *et al.*, 2008; Ramos, 2017). Segundo Głab (2014), a aplicação de composto resulta em um volume maior de espaço de ligação, ou seja, um valor mais alto da porosidade total, possibilitando ao solo uma maior capacidade de retenção de água e oxigênio. Essas mudanças benéficas são geralmente atribuídas ao efeito da mistura de solo mineral com material orgânico menos denso. É claramente evidente logo após a aplicação do composto em solos com textura fina (Aggelides e Londra, 2000) e em solos com textura grossa, especialmente quando altas taxas de composto foram aplicadas (Giusquiani *et al.*, 1995)

Segundo Delarmelina *et al.* (2014), em viveiros florestais, é corriqueiro o uso de componentes orgânicos na formulação dos substratos utilizados na produção das mudas, visando a melhorar os atributos físicos, químicos e biológicos. No entanto, tais formulações possuem quantidade insuficiente de nutrientes demandados para o crescimento das plantas, gerando a necessidade de fertilizações minerais, para que o desenvolvimento dos vegetais ocorra adequadamente.

Gonçalves *et al.* (2013) afirmam que o fornecimento adequado de nutrientes às plantas exerce função primordial na vida dos vegetais, dado que os mesmos compõem importantes processos de seu metabolismo, como a produção de compostos orgânicos e ativação/regulação de enzimas. O conhecimento do requerimento nutricional das espécies florestais nativas ainda é restrito a poucas espécies.

Resultados positivos no crescimento de mudas de essências florestais, utilizando-se substrato comercial, foram observados em *Sebastiania commersoniana* (Boene *et al.*, 2013), *Matayba guianensis* (Bao *et al.*, 2014), *Bauhinia forficata* (Duarte e Nunes, 2012) e *Eugenia*

uniflora (Antunes *et al.*, 2012). No entanto, resultados não satisfatórios foram encontrados em *Ateleia glazioviana* (Caldeira *et al.*, 2012), *Anadenanthera macrocarpa* (Uliana *et al.*, 2014), *Copaifera langsdorffii* (Dutra *et al.*, 2012) e *Enterolobium contortisiliquum* (Afonso *et al.*, 2012), onde o substrato comercial gerou mudas com menor taxa de crescimento, mostrando que as respostas das espécies nativas à natureza dos substratos são diferentes. Isso indica que existe a necessidade de estudos com foco na escolha adequada de substratos para a produção de mudas dessas espécies, considerando-se suas especificidades, a fim de se obterem plantas com padrão de qualidade satisfatório para atender aos projetos florestais.

A utilização de adubação orgânica no substrato de plantio das mudas, em área de recuperação, é uma alternativa viável para promover melhorias e uniformidade no crescimento das plantas, aumentar a eficiência de fertilizações, em especial as que contenham fósforo (P), além de contribuir no vigor e sobrevivência das mudas após o plantio no campo. Isso ocorre devido à grande parte dos substratos de cultivo utilizados na produção de mudas serem inertes, sendo essencial a complementação da adubação necessária ao crescimento de plantas (Goetten *et al.*, 2016) sendo, muitas vezes ser necessário o preparo de um novo substrato para ser incorporado no berço das mudas a serem plantadas em uma área degradada.

Mendes Filho (2004), em trabalho de revegetação em área degradada por mineração, demonstrou que o sucesso da recuperação depende da adição de composto orgânico, uma vez que este é essencial para o fornecimento de nutrientes, favorecendo o estabelecimento das plantas e da microbiota do solo.

A nutrição das plantas envolve a absorção de vários elementos químicos, essenciais para os processos bioquímicos responsáveis pelo metabolismo e crescimento das plantas, sendo estes elementos divididos em macro ou microelementos, absorvidos principalmente pelas raízes.

O nitrogênio (N) é um dos principais macronutrientes, sua disponibilidade é um fator limitante ao desenvolvimento das plantas e, com isso, o entendimento de sua dinâmica nos solos torna-se essencial para a racionalização da adubação nitrogenada nos reflorestamentos, visando à restauração de áreas degradadas.

O N é um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pelas plantas, fazendo parte de várias moléculas e estruturas vegetais (Cantarella, 2007). De maneira geral, grandes quantidades de N são requeridas pelas plantas, principalmente na fase inicial de desenvolvimento. Assim, a restrição de N leva a uma redução de crescimento, pois esse nutriente, além de fazer parte da estrutura de aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos, enzimas, coenzimas, vitaminas, pigmentos e produtos secundários, participa de processos como absorção iônica, fotossíntese, respiração, multiplicação e diferenciação celular

(Marschner, 1995; Malavolta *et al.*, 1997), que interferem direta ou indiretamente no desenvolvimento da planta.

A eficiência da utilização do N adicionado ao solo está relacionada ao grau de recuperação desse elemento pelas plantas, considerando as perdas que geralmente ocorrem (Bredemeier e Mundstock, 2000). Segundo esses autores, menos de 50% do N aplicado sob a forma de fertilizante mineral é utilizado pelas culturas.

As plantas diferem nas preferências pelas fontes de N e as absorvem principalmente em formas inorgânicas, como nitrato (NO_3^-) e / ou amônio (NH_4^+) (Williams e Miller, 2001). Segundo Cantarella (2007), a eficiência da recuperação de N dos fertilizantes varia de acordo com o tipo de solo, espécies, doses de fertilizantes, manejo, incidência de pragas e doenças e condições ambientais. O estudo das respostas das espécies à aplicação de N é necessário para corrigir o manejo da adubação, propiciando maior crescimento das plantas e otimizando o uso de insumos.

A deficiência do N limita o crescimento vegetal, sendo necessária adubação nitrogenada quando a demanda desse nutriente pela planta é maior do que a capacidade de suprimento do substrato (Soares *et al.*, 2017).

Outro macronutriente essencial é o fósforo (P) que é um importante elemento para o desenvolvimento das plantas, pois atua em funções metabólicas da mesma. A deficiência em P limita o desenvolvimento das plantas, devido à sua alteração na atividade fotossintética (Silva *et al.*, 2010).

A matéria orgânica quando presente influencia positivamente na disponibilidade de P (Lima, 2015), além de contribuir para melhorias da estrutura física, química e biológica do solo (Nascimento *et al.*, 2010).

Em virtude da dinâmica do P nos solos mais intemperizados, a baixa disponibilidade deste nutriente para as plantas tem sido apontada como causa do inadequado desenvolvimento da maioria das plantas, nas regiões tropicais. Desta forma, o uso de fertilizantes fosfatados, adicionados ao substrato orgânico, visa à melhoria da qualidade das mudas, sendo o crescimento máximo da planta obtido pela escolha da dose e fonte de P a ser utilizada.

O P é limitante na fase inicial de desenvolvimento, sendo altamente exigido para o desenvolvimento do sistema radicular e a formação de folhas e frutos (Laviola e Dias, 2008). O fornecimento de P nos primeiros anos de cultivo de espécies perenes deve ser em maior quantidade que o acumulado pela planta, pois, além de os solos brasileiros apresentarem baixo teor natural de P, esse nutriente é rapidamente fixado pela fração argila, constituída principalmente por óxidos de Fe e Al (Novais e Smyth, 1999).

Lima *et al.* (2011a) observaram que, além de favorecer o incremento de raiz e área foliar, a adubação fosfatada promoveu aumento do teor de todos os macronutrientes (exceto Ca), na parte aérea de mudas de pinhão-manso.

A demanda de P pelas espécies está associada a diversos fatores, como tamanho e conteúdo de P das sementes, grau de desenvolvimento do sistema radicular, dependência micorrízica, taxa de crescimento e estágio de desenvolvimento da planta. Maior resposta ao fornecimento de P é esperada em espécies de sementes pequenas e com baixos conteúdos de P, com sistema radicular pouco desenvolvido, com maior capacidade micotrófica, com maior taxa de crescimento e na fase inicial de desenvolvimento. Dessa forma, é de se esperar que as espécies pioneiras sejam mais responsivas às adubações fosfatadas, quando comparadas com as espécies clímaxicas (Furtini Neto *et al.*, 2000).

A deficiência de fósforo nos substratos provoca crescimento irregular, tanto na parte aérea quanto no sistema radicular, prejudicando a qualidade das mudas (Gomes e Paiva, 2012). Nesse sentido, adubações fosfatadas são necessárias para atender à demanda das plantas, que é variável de acordo com a espécie. Contudo, o conhecimento sobre as exigências nutricionais das espécies arbóreas nativas é escasso, justificando a realização de estudos que visam a obter informações para a produção de mudas com melhor qualidade (Cruz *et al.*, 2004), e otimizar o uso dos fertilizantes, atentando para os fatores econômicos e ambientais.

No entanto, a eficiência da adubação fosfatada é baixa, em especial em solos com elevado grau de intemperismo (Santos *et al.*, 2011), o que reforça a necessidade de novas tecnologias, visando a contornar tal problema.

O potássio (K) é o outro macronutriente essencial às plantas, pois atua como agente osmótico nas células vegetais, além de ativar enzimas. Uma nutrição potássica adequada resulta em vários benefícios às plantas, como incremento no crescimento das raízes, aumento da resistência à seca e à baixa temperatura, resistência a pragas e moléstias e incremento na nodulação das leguminosas (Meurer, 2006). Estudos indicam que as espécies arbóreas respondem de maneira distinta à fertilização com esse nutriente, sendo negativa para o jacarandá-da-Bahia (Reis, *et al.* 2012) e positiva para canafístula (Cruz *et al.*, 2011b).

O potássio tem várias funções nas plantas, destacando-se a ativação de vários sistemas enzimáticos, muitos deles participantes dos processos de fotossíntese e respiração. O K tem ainda outras funções importantes nas plantas, como regulação osmótica, manutenção da turgidez das células e abertura e fechamento dos estômatos, interferindo dessa forma também na transpiração. A deficiência de K nas plantas reduz a dominância apical, interferindo dessa

forma no crescimento das mesmas. Embora alguns estudos, conforme acima mencionado, já tenham sido conduzidos nesse sentido, o K tem sido um dos os nutrientes menos estudados.

Neste sentido, o presente trabalho tem como um de seus objetivos testar o uso de compostos orgânicos, obtidos a partir de diferentes composições de resíduos orgânicos, no crescimento de plantas nativas, em casa de vegetação.

3. Sobre a Tese

Conforme apresentado anteriormente, o contexto ambiental atual demanda maior reciclagem ou reaproveitamento da fração orgânica dos resíduos agrícolas, industriais ou urbanos, sendo que a reutilização destes resíduos pode ser realizada após o processo de compostagem, que permite a obtenção de produtos de uso seguro para agricultura e, principalmente, para o meio ambiente. A maior parte das pesquisas neste campo tem sido realizada em pequena escala e com dois tipos de resíduos, sendo assim, este estudo apresenta uma nova possibilidade, por ter sido realizado em escala industrial com cinco tipos de resíduos orgânicos diferentes.

Quando abordamos o tema de restauração de áreas degradadas, a fertilidade do solo e a o crescimento inicial de mudas plantas são alguns dos tópicos de maior importância para o processo. Se aliarmos esses tópicos à minimização do uso de fertilizantes industriais químicos, a adoção da adubação orgânica, em solos altamente degradados, torna-se uma alternativa altamente viável para o aumento gradativo da fertilidade destes solos.

Assim, esta pesquisa foi planejada com estas bases conceituais e os resultados foram organizados e apresentados em dois capítulos. O primeiro capítulo trata da compostagem de cinco resíduos de diversas origens, homogeneizados em diferentes proporções, e o composto obtido.

O segundo capítulo aborda o uso dos cinco melhores compostos obtidos no experimento do primeiro capítulo, em diferentes concentrações, visando a avaliar o crescimento de mudas de árvores nativas.

A finalização desta tese apresenta considerações a respeito das conclusões de cada capítulo.

4. Objetivos

4.1. Objetivo Geral

Avaliar a utilização de resíduos orgânicos de diferentes origens, utilizados como matéria prima no processo de compostagem, e o uso do composto obtido no crescimento de espécies arbóreas nativas do Brasil.

4.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as diferentes composições de resíduos como matéria prima para o processo de compostagem e a qualidade do composto produzido.
- Avaliar o potencial agronômico dos compostos orgânicos produzidos para promover o crescimento de *Cedrela fissillis* Vell., visando a utilização como substrato para produção de mudas desta espécie.

5. Referência Bibliográficas

- Afonso, M.V.; Martinazzo, E.G.; Aumonde, T.Z.; Villela, F. A.** Composição do substrato, vigor e parâmetros fisiológicos de mudas de timbaúva (*Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong). Revista Árvore, v. 36, n. 6, p. 1019-1026, 2012.
- Aggelides S.M., Londra P.A.** Effects of compost produced from town wastes and sewage sludge on the physical properties of a loamy and a clay soil. Bioresour. Technol., 71, 2000, pp. 253 – 259
- Akutsu J., Martins J.E.M.P., Castilho G.S., Renóbio A., Isa M.M..** Avaliação e Controle Operacional de Processo de Compostagem de Resíduos Sólido através de Método Respirométrico. In: Simpósio de Engenharia de Produção, Bauru. 2009.
- Andreoli, C.V., Backes, S.A., Cherubini, C.** Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos de saneamento. In: FERTBIO (Anais) Rio de Janeiro, 2002.
- Antunes, L.E.C.; Picolotto, L.; Vignolo, G.K.; Gonçalves, M.A.** Influência do substrato, tamanho de sementes e maturação de frutos na formação de mudas de pitangueira. Revista Brasileira de fruticultura, v. 34, n. 4, p. 1216-1223, 2012.
- Araújo, A. S. F.; Melo, W. J.** Biomassa microbiana do solo. Teresina: Serviço de Processamento Técnico da Universidade Federal do Piauí, 2012. 150 p.
- Bao, F.; Lima, L. B.; Luz, P.B.** Caracterização morfológica do ramo, sementes e plântulas de *Matayba guianensis* Aubl. e produção de mudas em diferentes recipientes e substratos. Revista Árvore, v. 38, n. 1, p. 63-71, 2014.
- Barbosa, L.M. Shirasuna, R.T.; Lima, F.C.; Ortiz; P.R.; Barbosa, K.C., Barbosa, T.C.** Lista das espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Instituto de Botânica, 2017. 344p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2019/10/lista-especies-rad-2019.pdf>
- Boene, H.C.A.M.; Nogueira, A.C.; Sousa, N.J.; Kratz, D.; Souza, P.V.D.** Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Sebastiania commersoniana*. Floresta, v. 43, n. 3, p. 407-420, 2013
- Brancalion, P.H.S; Gandolfi, S.; Rodrigues, R.R.** Restauração Florestal. São Paulo. 432 p. 2015. Disponível em: http://www.lcb.esalq.usp.br/sites/default/files/publicacao_arq/978-85-7975-019-9.pdf
- Brasil.** Decreto nº 4.954 de 2004. Regulamentação da Lei de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes. Diário Oficial da República Federativa do

- Brasil, Brasília, DF. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: agosto de 2015.
- Brasil.** Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305 de 2010. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/.../lei/l12305.htm Acesso em: setembro de 2015.
- Brasil.** Instrução Normativa MAPA nº 53 de 2013. Normas para Produção e Comercialização de Fertilizantes, Corretivos, Inoculantes, Estimulantes ou Biofertilizantes. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: www.agricultura.gov.br. Acesso em: agosto de 2015.
- Bredemeier, C.; Mundstock, C.M.** Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 30, n. 2, p. 365-372, 2000.
- Brito, M. J. C.** Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato. 2008. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracajú.
- Busato, J.G.** Química do húmus e fertilidade do solo após adição de adubos orgânicos. 2008. 152 p. Tese (Doutorado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro.
- Cantarella H.** Nitrogênio. In: Novais RF, Alvarez VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti, RB & Neves JCL. (Eds.). *Fertilidade do Solo* 2ª ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo; 2007. p.376-449.
- Caldeira, M.V.W.; Peroni, L.; Gomes, D.R.; Delarmelina, W.M.; Trazzi, P.A.** Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). *Scientia Forestalis*, v. 40, n. 43, p. 15-22, 2012
- Carlos, L.; Venturin, N.; Macedo, R. L. G.; Higashikawa, E. M.; Garcia, M. B.; Farias, E. S.** Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 1, p. 13-21, 2014.
- Chen, L., De Haro, M.M., Moore, A., Falen, C.** *The Composting Process: Dairy Compost Production and Use in Idaho* (CIS 1179), University of Idaho, 2011.
- Chiang K., Huang, H., Chang, C.** Enhancement Of Heavy Metal Stabilization By Different Amendments During Sewage Sludge Composting Process. *J. Environ. Eng. Manage.*, 17(4), p.249-256. 2007.
- Ciriello, V.; Guerrini, I. A.; Backes, C.** Doses de nitrogênio no crescimento inicial e nutrição de plantas de guanandi. *Cerne*, v. 20, n. 4, p. 653-660 2014.

- Costa Filho, R.T.; Valeri, S.V.; Cruz, M.C. P.** Calagem e adubação fosfatada no crescimento de mudas de *Mimosa caesalpiniiifolia* Benth. em Latossolo vermelho-amarelo. Ciência florestal, v. 23, n.1, p. 89-98, 2013.
- Cruz, C.A.F.; Paiva, H.N.; Gomes, K.C.O.; Guerrero; C.R.A.** Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). Scientia Forestalis, Piracicaba, n. 66, p. 100-107, 2004
- Cruz, C. A. F.; Paiva, H. N.; Cunha, A.; Neves, J.C.L.** Efeito de macronutrientes sobre o crescimento e qualidade de mudas de canafístula cultivadas em Latossolo vermelho-amarelo distrófico. Revista Árvore, v. 35, n. 5, p. 983-995, 2011a
- Cruz, C. A. F.; Paiva, H. N.; Cunha, A.; Neves, J.C.L.** Macronutrientes na produção de mudas de canafístula em argissolo vermelho amarelo da região da zona da mata, MG. Ciência Florestal, v. 21, n. 3, p. 445-457, 2011b.
- Cruz, C. A. F.; Paiva, H. N.; Cunha, A.; Neves, J.C.L.** Crescimento e qualidade de mudas de Fedegoso cultivadas em latossolo vermelho-amarelo em resposta a macronutrientes. Scientia Forestalis, Piracicaba, v.39, n.89, p.21-33, 2011c.
- Delarmelina, W.M.; Caldeira, M.V.W.; Faria, J.C.T.; Gonçalves, E.O.; Rocha, R.L.F.** Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. Floresta e Ambiente, v. 21, n. 2, p. 224-233, 2014.
- Dias, M.J.T.; Souza, H.A.; Natale, W.; Modesto, V.C.; Rozane, D.E.** Adubação com nitrogênio e potássio em mudas de goiabeira em viveiro comercial. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.33, n.1 p. 2837-2847, 2012.
- Dias, T. J.; Pereira, W.E., Cavacante, L.F.; Raposo, R.W.C.; Freire, J.L.O.** Desenvolvimento e qualidade nutricional de mudas de mangabeiras cultivadas em substratos contendo fibra de coco e adubação fosfatada. Revista Brasileira de Fruticultura, v. 31, n. 2, p. 512-523, 2009.
- Dias, L.E.; Venegas, V.H.A.; Jucksch, I.; Barros, N.F.; Júnior, S.B.** Formação de mudas de taxi-branco (*Sclerolobium paniculatum* Voguel). I. Resposta a calcário e fósforo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 26, n. 1, p. 69-76, 1991.
- Ding, Y., H., Sun, W., Jiang, G., Chen,Y.** Decomposition of Organic Carbon in Fine Soil Particles Is Likely More Sensitive to Warming than in Coarse Particles: An Incubation Study with Temperate Grassland and Forest Soils in Northern China PLoS One, 9. 2014. p. 4703 – 4706.
- Duarte, D. M.; Nunes, U. R.** Crescimento inicial de mudas de *Bauhinia forficata* Link em diferentes substratos. Cerne, v.18, n. 2, p. 327-334, 2012.

- Dutra, T. R.; Graziotti, P. H.; Santana, R. C.; Massad, M. D.** Desenvolvimento inicial de mudas de copaíba sob diferentes níveis de sombreamento e substratos. *Revista Ciência Agronômica*, v. 43, n. 2, p. 321-329, 2012.
- Emerson, D.** Single stream vs. source separated recycling. *Biocycle*, 5: 22. 2004
- Engel V.L., Parrota, P.A.** Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In: Kageyama, P.Y.; Oliveira, R.E.; Moraes, L.F.D.; Engel, V.L.; Gandara, F.B. (Org.) *Restauração Ecológica de ecossistemas naturais*. Botucatu. 2003.
- Fernandes, F.J., Chohfi, F.M.** Determinação da mistura ótima para compostagem de dejetos suínos utilizando maravalha de madeira. *Revista Agrogeoambiental*, v. 2, n. 1, p. 109-116, abr. 2010
- Fernandes, F., Silva, S.M.C.P.** Manual prático de compostagem de biossólidos. Rio de Janeiro: PROSAB; 1999. 84 p.
- Fichtner E.J., Benson D.M., Diab H.G., Shew H.D.** Abiotic and Biological Suppression of *Phytophthora* parasítica in a Horticultural Medium Containing Composted Swine Waste. *The American Phytopathological Society* Vol. 94, No. 7, 2004, p. 780 - 788
- Fonseca, D.A., Backes, A.R., Rosenfield, M.F., Overbeck, G.E., Muller, S.C.** Avaliação da regeneração natural em área de restauração ecológica e mata ciliar de referência. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 521-534. 2017.
- Fontes, A. G.; Gama-Rodrigues, A. C.; Gama-Rodrigues, E. F.** Eficiência nutricional de espécies arbóreas em função da fertilização fosfatada. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 73, p. 9-18, 2013.
- Freiberger, M. B.; Guerrini, I. A.; Galetti, G.; Fernandes, D.M.; Corrêa, J. C.** Crescimento inicial e nutrição de cedro (*Cedrela fissilis* Vell.) em função de doses de nitrogênio. *Revista Árvore*, v. 37, n. 3, p. 385-392, 2013.
- Furtini Neto, A.E.; Resende, Á.V.; Vale, F.R.; Faquin, V.; Fernandes, L.A.** Acidez do solo, crescimento e nutrição mineral de algumas espécies arbóreas, na fase de muda. *Cerne*, v. 5, n. 2, p. 1-12, 1999. Gonçalves, E.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.;
- Giusquiani P.L., Pagliai M., Gigliotti G.M., Businelli D.G., Benetti A.D.** Composto de resíduos urbanos: efeitos nas propriedades físicas, químicas e bioquímicas do solo. *J. Environ. Qual.*, 24, 1995, pp. 175 – 182
- Glab, T.** Water Retention and Repellency of a Sandy Soil Amended with Municipal compost. *Compost Sci. Util.*, 2014, pp. 47 – 56

- Goetten, L.C.; Moretto, G.; Stürmer, S.L.** Influence of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum produced on farm and phosphorus on growth and nutrition native Woody plant species from Brazil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 30, n. 1, p. 9-16, 2016.
- Gomes, J. M.** Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. sob diferentes doses de N, P, K, Ca e Mg. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 273-286. 2013
- Gomes, J.M.; Paiva, H.N.** Viveiros florestais: propagação sexuada. Viçosa: Editora UFV, 2012. 116 p.
- Gomes, K.C.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Barros, N.F.; Silva, S.R.** Influência da saturação por bases e do fósforo no crescimento de mudas de angico-branco. *Revista Árvore*, v. 28, n. 6, p. 785-792, 2004
- Gonçalves, E. O.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M.** Nutrição de mudas de *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth. sob diferentes doses de N, P, K, Ca e Mg. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 23, n. 2, p. 273-286. 2013.
- Gonçalves, E. O.; Paiva, H. N.; Neves, J. C. L.; Gomes, J. M.** Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. *Revista Árvore*, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012.
- Gonçalves, E.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M.** Crescimento de mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.) sob diferentes doses de macronutrientes. *Scientia Forestalis*, v. 38, n. 88, p. 599-609, 2010
- Gonçalves, J. L., José Luiz Stape, V. B., e Gava, J. L.** Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: J.L. Gonçalves & V. Benedetti, *Nutrição e Fertilização Florestal* (p. p.35). Piracicaba, São Paulo: IPEF, 2000.
- Gondek K., Mierzwa-Hersztek M., Kopeć M., Sikora J., Głab T., Szczurowska K.** Influence of Biochar Application on Reduced Acidification of Sandy Soil, Increased Cation Exchange Capacity, and the Content of Available Forms of K, Mg, and P. *Pol. J. Environ. Stud.* vol. 28. 2019. p.1-9
- Hargreaves J.C., Adl M.S., Warman P.R.** A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 2008, p.1 – 14.
- Hejduk S., Baker S.W., Spring Spring C.A.** Evaluation of the effects of incorporation rate and depth of water-retentive amendment materials in sports turf constructions. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil & Plant Science*, 2012, pp. 155 – 164
- Herbets, R.A., Coelho, C.R.A., Miletto, L.C., Mendonça, M.M.** Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. *Health and Environment Journal*, v. 6, n.1, p. 41-50, 2005.

- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Síntese dos Indicadores de 2009. Rio de Janeiro: IBGE; 2010 [acesso em setembro de 2015]. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2009/pnad_sintese_2009.pdf
- Inácio, T.C., Miller, M.R.P.** Compostagem ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 156p. 2009
- Iqbal, M.K., Nadeem, A., Sherazi, F., Khan, R.A.** Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 12, p.1759-1768. 2015
- Kiehl, E.J.** Manual de Compostagem - Maturação e Qualidade do Composto. Piracicaba, 2012. 171 p.
- Laviola, B.G.; Dias, L.A.S.** Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão-mansão. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1969-1975, 2008.
- Lal, R.** Soil quality and sustainability. In: Lal, R.; Blum, W.H.; Valentine, C.; Stewart, B.A. Methods for assessment of soil degradation. New York: CRC Press, 1998. p. 17-30.
- Leite, T.A.** Compostagem termofílica de lodo de esgoto: higienização e produção de biossólidos para uso na agricultura. Dissertação (mestrado em ciências). Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo-SP. 2015.
- Lima, B.V.; Caetano, B.S.; Souza, G.G.; Souza C.S.S.** A adubação orgânica e a sua relação com a agricultura e o meio ambiente. Mato Grosso: Unisalesiano, 2015. 12 p. Disponível em: <http://www.unisalesiano.edu.br/simposio2015/publicado/artigo0186.pdf>
- Lima, R.L.S.; Severino, L.S.; Gheyi, H.R.; Sofiatti, V.; Arriel, N.H.C.** Efeito da adubação fosfatada sobre o crescimento e teor de macronutrientes de mudas de pinhão manso. *R. Ci. Agron.*, 42:950-956, 2011a.
- Malavolta, E.; Vitti, G.C.; Oliveira, S.A.** Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p
- Marschner, H.** Mineral nutrition of higher plants. 2 ed. New York: Academic Press, 1995. 889p.
- Martins Gomes E.T., Berbara R.L.L., Pereira M.G., Urquiaga S.S., Tavares O.C.H., Assunção S.A., Zonta E., Sobrinho N.M.B.A., Garcia A.C.** Effects of farmed managements in sandy soils on composition and stabilization of soil humic substances. *Land Degradation and Development*. 2018. p.68–79.

- Martins, S.V.** Restauração ecológica de áreas mineradas. In: Barbosa, L.M. (coord.) Restauração ecológica: tecnologias e avanços (anais do VII Simpósio de Restauração Ecológica). São Paulo, Instituto de Botânica, p.35-39, 2017.
- Massukado, L.M.** Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta para software livre para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares. 2008. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP.
- Mccoy, E.L.; Mccoy, K.R.** Simulation of putting-green soil water dynamics: Implications for turfgrass water use. *Agricultural Water Management* Volume 96, Issue 3, March 2009, P. 405-414.
- Mendes Filho, P.M.** Potencial de reabilitação do solo de uma área degradada, através da revegetação e do manejo microbiano. Tese (doutorado) Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP. 2004. 105 p.
- Meurer, E.J.** Potássio. In: Fernandes, M.S. (ed.) Nutrição mineral de plantas. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. p. 281-298, 2006
- Moraes Neto, S.P.; Gonçalves, J.L.M.; Rodrigues, C.J.; Geres, W.L.A., Ducatti, F.; Aguirre Junior, J.H.** Produção de mudas de espécies arbóreas nativas com combinações de adubos de liberação controlada e prontamente solúveis. *Revista Árvore*, v. 27, n. 6, p. 779-789, 2003.
- Moreira P.R.** Manejo do solo e recomposição da vegetação com vistas a recuperação de áreas degradadas pela extração de bauxita, Poços de Caldas, MG. 2004. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Estadual Paulista – UNESP.
- Nascimento, P.C.; Lani, J.L.; Mendonça, E.S.; Zoffoli, H.J.O.; Peixoto, H.T.M.** Teores e características da matéria orgânica de solos hidromórficos do Espírito Santo. *R. Bras. Ci. Solo*, v. 34: p. 339-348, 2010.
- Nasta P., Kamai T., Chirico G.B., Hopmans J.W., Roman N.** Scaling soil water retention functions using particle-size distribution. *Journal of Hydrology* Volume 374, Issues 3–4, 15 August 2009, Pages 223-234
- Neves, O. S. C.; Benedito, D. D. S.; Machado, R. V.; Carvalho, J. G. D.** Crescimento, produção de matéria seca e acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea de mudas de andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) cultivadas em solo de várzea, em função de diferentes doses de fósforo. *Revista Árvore*, v. 28, n. 3, p. 343-349, 2004
- Novais, R.F.; Smyth, T.J.** Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 300p.

- Oliveira, L.S.B.; Andrade, L.A.; Alves, A.S.; Gonçalves, G.S.** Substrato e volume de recipiente na produção de mudas de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). *Nativa*, v. 2, n. 2, p. 103-107, 2014.
- Parajara, F.C.** Compostagem de Resíduos Orgânicos. *Revista Limpeza Pública*, v. 01, p. 56-61, 2014.
- Pereira Neto, J. T.** Manual de Compostagem – Processo de Baixo Custo. Viçosa: Editora UFV, 2007. 81p.
- Pedrosa T.D., Farias, C.A.S., Pereira, R.A., Farias, E.T.R.** Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. *Nativa*, Sinop, v. 01, n. 01, p. 44-48, out./dez., 2013
- Petiot, C., Guardia, A.** Composting in a Laboratory Reactor: A Review. *Compost Science & Utilization*, v.12, n.1, p.69-79, 2004.
- Poggiani, F., Schumacher, M. V.** Ciclagem de Nutrientes em Florestas Nativas. In: J.L. Gonçalves & V. Benedetti, *Nutrição e Fertilização Florestal* (pp. p.288-304). Piracicaba: IPEF, 2000.
- Ramos M.C.** Effects of compost amendment on the available soil water and grape yield in vineyards planted after land levelling. *Agr.Water Manage.*, 2017, p. 67 – 76.
- Reis, B.E.; Paiva, H.N.; Barroso, T.C.; Ferreira, A.L.; Cardoso, W.C.C.** Crescimento e qualidade de mudas de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) em resposta à adubação com potássio e enxofre. *Ciênc. Florestal*, v. 22 (2), p. 389- 396, 2012
- Ricci, A.B.** Uso de lodo de esgoto estabilizado na revegetação de um solo decapitado. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) Escola de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual De Campinas – UNICAMP. Campinas-SP. 2008
- Santos, D.H.; Silva, M.A.; Tiritan, C.S.; Foloni, J.S.S.; Echer, F. R.** Qualidade tecnológica da cana-de-açúcar sob adubação com torta de filtro enriquecida com fosfato solúvel. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, n.5, p.443– 449, 2011.
- Santos, J. Z. L.; Resende, A. V., Furtini Neto, A. E.; Corte, E. F.** Crescimento, acúmulo de fósforo e frações fosfatadas em mudas de sete espécies arbóreas nativas. *Revista Árvore*, v. 32, n. 5, p. 799-807, 2008.
- Silva, D. S. N.; Venturin, N.; Rodas, C. L.; Macedo, R. L. G; Venturin, R. P.; Melo, L. A.** Growth and mineral nutrition of baru (*Dipteryx alata* Vogel) in nutrient solution. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 12, p. 1101- 1106, 2016.

- Silva, L.; Marchiori, P.E.R.; Maciel, C.P.; Machado, E.C.; Ribeiro, R.V.** Fotossíntese, relações hídricas e crescimento de cafeeiros jovens em relação à disponibilidade de fósforo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 45, n. 9, p.965-972, out. 2010.
- Smarsi, R. C.; Oliveira, G. F.; Reis, L. L.; Chagas, E. A.; Pio, R.; Mendonça, V.; Chagas, P. C.; Curi, P. N.** Efeito da adubação nitrogenada na produção de mudas de lichieira. *Revista Ceres*, Viçosa, v.58, n.1, p.129-131, 2011.
- Soares, C.B.; Freitas, E.C.S.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.** Nitrogen sources and doses on growth and quality of seedlings of *Cassia grandis* and *Peltophorum dubium*. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 41, n. 2, 2017.
- Sorreano, M.C.M.; Malavolta, E.; Silva, D.H.D.; Cabral, C.P.; Rodrigues, R.R.** Deficiência de macronutrientes em mudas de sangra d'água (*Croton urucurana*, Baill.). *Cerne*, v. 17, n. 3, p. 347-352, 2011.
- Tucci, C.A.F.; Lima, H.N.; Lessa, J.F.** Adubação nitrogenada na produção de mudas de mogno (*Swietenia macrophylla* King). *Acta Amazonica*, Manaus, v. 39, n. 2, p. 289-293, 2009
- Uliana, M.B.; Fey, R.; Malavasi, M.M.; Malavasi, U.C.** Produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* em função de substratos alternativos e da frequência de fertirrigação. *Floresta*, v. 44, n. 2, p. 303-312, 2014.
- Valente, B.S. Xavier, E.G., Morselli, T.B.G.A., Jahnke D.S., Brum Jr., B. de S., Cabrera, B.R., Moraes, P. de O., Lopes, D.C.N.** Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia*, Córdoba, v. 58, n. 1, p. 9-85, abr. 2009.
- Venturin, N.; Souza, P.A.D.; Macedo, R.L.G.; Nogueira, F.D.** Adubação mineral da candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) McLeish). *Floresta*, v. 35, n. 2, p. 211- 219, 2005.
- Williams L.E., Miller A.J.** Transporters responsible for the uptake and partitioning of nitrogenous solutes. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*. 2001;52:659-88.

Capítulo 1. Tratamento Sustentável de Resíduos Sólidos Orgânicos de Diferentes Origens pelo Processo de Compostagem em Larga Escala

Resumo - esta pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade do composto orgânico produzido pelo processo de compostagem, obtido a partir de diferentes composições de resíduos orgânicos, de diferentes origens como matéria prima, visando à produção de um fertilizante orgânico composto. O experimento foi implantado em escala industrial, pelo sistema de aeração forçada, sendo 15 tratamentos e três repetições, utilizando como matéria prima resíduos de lodo de ETE de indústria de alimento, terra diatomácea do processo de filtragem da produção de óleos vegetais; cinzas de biomassa, sobras do preparo de alimentos e alimentação de restaurantes industriais e, ainda, resíduos de podas de árvores e jardins. Durante a condução do processo, foi realizado o monitoramento diário da temperatura das leiras, como indicador do processo de compostagem. Os parâmetros avaliados para classificação do composto orgânicos foram percentual de nitrogênio total, carbono orgânico, relação C/N, pH, capacidade de troca de cátions (CTC), relação CTC/C, CRA e umidade. Com base nos resultados alcançados, os compostos obtidos em todos os tratamentos podem ser classificados com condicionador de solos.

Palavras chaves: compostagem; condicionador de solos; resíduos orgânicos.

Chapter 1. Production of organic compost as of solid waste from different sources

Abstract: this research aimed to evaluate the quality of the organic compost produced by the composting process, obtained from different compositions of organic waste, from different sources of raw material. The final objective was at the production of a composite organic fertilizer. The experiment was implanted on an industrial scale by the forced aeration system, with 15 treatments and three replicates, using as raw material sludge residues from food industries, natural diatomaceous from the filtration process of production of vegetable oils; ashes from biomass, leftovers from food preparation and feeding of industrial restaurants and pruning waste from trees and gardens. During the conduction of the process, the daily temperature monitoring of the logs was performed as an indicator of the composting process. The parameters evaluated for the classification of organic compounds were percentage of total nitrogen, organic carbon, C/N ratio, pH, cation-exchange capacity (CEC), CEC/C ratio, CRA e moisture. Based on the results obtained, compounds performed using all procedures can be classified with soil conditioning

Keywords: composting; soil conditioning; organic waste.

Introdução

Nas últimas décadas, a quantidade de resíduos, principalmente gerados em agroindústrias e indústrias de alimentos, aumentou significativamente, devido ao crescimento exponencial da população mundial e mudança no perfil de hábitos de consumo, onde as pessoas têm priorizado alimentos industrializados. Da mesma forma, isso levou à geração em massa de diversos tipos de resíduos orgânicos, como os derivados das indústrias alimentícias e agroindústrias (Wei *et al.*, 2019).

A compostagem pode ser entendida como a soma de processos metabólicos complexos, realizados por diferentes microrganismos que, na presença de oxigênio, usam o nitrogênio (N) e o carbono (C) disponíveis para produzir sua própria biomassa. Nesse processo, os microrganismos geram calor e um substrato sólido, com menos carbono e nitrogênio, entretanto mais estável, o que é chamado composto (Roman *et al.*, 2015).

O processo de compostagem industrial é baseado em processos naturais de mineralização e humificação, que ocorrem durante a decomposição de matéria orgânica nos solos. O produto é obtido pelo resultado direto da ação de uma diversidade de populações microbianas em condições aeróbicas, que transformam biologicamente os resíduos orgânicos, gerando um produto estável chamado composto (Kiehl, 2012). Diferentes comunidades de microrganismos, principalmente bactérias, fungos e protozoários, estão ativa e sucessivamente implicadas no processo de compostagem, com intensidade variável, dependendo da temperatura, teor de umidade, relação C / N e natureza dos materiais orgânicos frescos (Hassen *et al.*, 2001).

O processo de compostagem reduz toxicidade, volume e umidade de resíduos e os transforma em fontes de matéria orgânica de uso na agricultura e no enriquecimento de fertilidade do solo. A efetividade desse tipo de composto como condicionador de solo ou fertilizante depende das propriedades químicas, físicas e biológicas do substrato utilizado (gonzález-fernández *et al.*, 2015).

Estrella-González *et al.* (2019) demonstram que não existem dois processos iguais de compostagem e que isso pode estar diretamente relacionado aos resíduos utilizados e seus perfis físico-químicos, relatando que não existe receita ou protocolo fixo para a prática de compostagem, mas que as diferentes situações e materiais utilizados devem ser controlados desde o início do processo.

Ainda resta muito trabalho na definição das condições padrão de medição, e desenvolvimento de equações e fórmulas que relacionam as várias propriedades físicas para cada tipo de matéria-prima usado em compostagem (Agnew e Leonard, 2003).

Muitas alternativas têm sido propostas para o tratamento e reciclagem de resíduos orgânicos de maneira mais sustentável, sendo que o processo de compostagem é considerado um dos mais atrativos, nesse sentido, porque não implica impacto ambiental e possui um baixo custo. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei 12.305 de 2010), o processo de compostagem é considerado uma destinação final ambientalmente adequada para o tratamento e a reciclagem de resíduos orgânicos.

Para controlar a qualidade do produto obtido, após a compostagem, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) regulamentou as características ideais que o composto deve possuir para aplicação no solo. O produto final obtido pode ser cadastrado no MAPA, sendo classificado como fertilizante orgânico composto e, para tanto, deve atender às seguintes propriedades: mínimo 15% de carbono orgânico (C), 0,5% de nitrogênio (N), pH 6,0, relação carbono nitrogênio (C/N) máxima de 20 e umidade máxima de 50%. Além destes, é obrigatória a declaração de capacidade de troca catiônica (CTC), da relação CTC/C e de outros macronutrientes caso presentes, conforme determinado na instrução normativa SDA 25 de 2009.

Outro produto que pode ser obtido pelo processo de compostagem é o condicionador de solos que, conforme instrução normativa SDA 35 de 2006, do MAPA, é um produto que promove a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas, utilizado para recuperar solos degradados ou desequilibrados nutricionalmente, tendo basicamente as seguintes garantias mínimas: CTC de 200 mmol c/kg e capacidade de retenção de água (CRA) de 60%, devendo ser declarados os nutrientes no momento do registro do produto, quando produzidos para reequilibrar nutricionalmente os solos.

Para testar a hipótese de viabilidade da utilização de cinco tipos diferentes de resíduos: podas e jardinagem, cinzas de biomassa, resíduos alimentares, lodos de estação de tratamento de efluente industrial e terra diatomácea do processo de produção de óleos vegetais, no processo de compostagem, neste trabalho, realizou-se a mistura destes resíduos em diferentes proporções, sendo avaliados os parâmetros agronômicos exigidos pelo MAPA, para o registro do produto obtido pela compostagem como fertilizante orgânico composto ou condicionador de solos.

Materiais e métodos

Este trabalho foi implantado e conduzido nas dependências da empresa Ecomark Indústria e Comércio de Fertilizantes Especiais Ltda., situada no município de Elias Fausto –

SP, nas coordenadas geográficas 23° 08' de latitude Sul e 47° 21' de longitude Oeste, com altitude média 580 metros acima do nível do mar.

O experimento foi implantado em escala industrial, ou seja, leiras de aproximadamente 90 toneladas cada, sendo 15 tratamentos (leiras) e três repetições, e compostas pelos resíduos a seguir relacionados:

- Resíduo A: Lodo biológico de ETE
- Resíduo B: Terra diatomácea
- Resíduo C: Cinzas de biomassa
- Resíduo D: Sobras de preparo de alimentos
- Resíduo E: Podas de árvores e restos de jardinagem

Tabela 1. Peso em toneladas de cada resíduo utilizado na implantação dos diferentes tratamentos utilizados.

Tratamento	Resíduo A	Resíduo B	Resíduo C	Resíduo D	Resíduo E
1	47,3	0,0	0,0	23,2	23,4
2	45,1	24,1	0,0	22,3	0,0
3	46,1	0,0	22,2	23,1	0,0
4	46,3	22,1	0,0	0,0	23,5
5	45,6	0,0	23,1	0,0	22,4
6	0,0	45,4	0,0	23,8	23,9
7	23,6	45,2	0,0	23,9	0,0
8	0,0	45,6	22,8	23,4	0,0
9	23,5	44,6	0,0	0,0	24,8
10	0,0	46,1	23,4	0,0	23,6
11	0,0	0,0	45,8	24,1	23,6
12	0,0	23,7	45,3	22,8	0,0
13	23,5	0,0	46,3	23,8	0,0
14	0,0	22,3	45,7	0,0	23,7
15	23,6	0,0	45,6	0,0	23,8

O lodo utilizado no experimento é um material parcialmente desidratado, oriundo do processo de tratamento biológico dos efluentes de indústria de abatedouros e sem a presença de efluente sanitário.

A terra diatomácea tem origem mineral pela precipitação dos restos microscópicos de frústulas das diatomáceas, sendo este um material altamente absorvente e usado em processos produtivos em indústrias de alimentos e bebidas. No caso deste experimento, o resíduo é utilizado como agente filtrante na clarificação e classificação de óleos vegetais, devido à sua alta permeabilidade e capacidade de retenção de material sólido entre as partículas.

As cinzas de biomassa utilizadas são resíduos provenientes da queima de madeira (galhos, troncos, paletes, etc.) para produção de energia, em uma indústria do segmento de celulose.

Os resíduos de preparo de alimentos são provenientes de diversos restaurantes industriais, com presença de alimentos já cozidos, como arroz, feijão, macarrão, carnes e peixes.

Os resíduos de podas e jardinagem são provenientes das atividades de manutenção de áreas verdes, principalmente do município de Salto, sendo que os materiais lenhosos passaram por uma trituração mecanizada antes da utilização no processo de compostagem.



Figura 1. Diferentes resíduos utilizados na pesquisa: (A) Recebimento do Lodo de ETE; (B) terra diatomácea; (C) cinzas de biomassa; (D) sobra de alimentos; e, (E) podas sendo trituradas.

Para a instalação do experimento, os resíduos foram pesados em balança rodoviária, no momento da entrada na área da empresa, sendo descarregados no pátio de homogeneização, à exceção das podas e jardinagem, que eram descarregados ao lado dos trituradores de galhos. A homogeneização dos materiais foi realizada em área coberta, com piso impermeabilizado,

sendo misturados com a utilização de equipamentos projetados para a finalidade, ou seja, uma compostadeira tracionada por trator.



Figura 2. Homogeneização dos resíduos após pesagem e recebimento com uso de equipamento específico para o processo.

Após o processo de homogeneização, procedeu-se à montagem das leiras em pátio impermeabilizado e sem cobertura, tendo cada leira a dimensão aproximada de 25 metros de comprimento, por 3,5 metros de largura e 2,5 metros de altura, montadas em formato piramidal, sobre uma camada de resíduos de podas e tubulação perfurada no interior desta camada.



Figura 3. Montagem da leira estática após a homogeneização dos resíduos.

Nesta fase do experimento, a leira permaneceu estática, sendo utilizado sistema de aeração forçada, composto por ventiladores centrífugos com vazão de 35 m³ por minuto, sistema automático de controle e tubulação plástica perfurada, para permitir que o ar circulasse

no interior da leira sem que houvesse a necessidade de revolvimento mecânico. O sistema de aeração forçada funcionou de maneira intermitente, sendo programado para permanecer 10 minutos em funcionamento, alternando com 10 minutos desligado, por todo o período em que as leiras estivessem nesta fase.



Figura 4. Sistema de aeração forçada utilizado durante 60 primeiros dias do processo de compostagem.

Após 60 dias em processo de compostagem em leiras estáticas, os lotes experimentais foram encaminhados ao pátio de cura, onde passaram por revolvimento periódico, visando à estabilização final e humificação do composto orgânico, onde as leiras foram revolvidas com utilização de compostadeira tracionada por trator sempre que a temperatura ultrapassasse os 50°C.



Figura 5. Revolvimento mecânico no pátio de cura visando a estabilização e humificação do composto orgânico

Durante todo o experimento, foram realizados controles diários de temperatura, devido à necessidade de manter-se a temperatura da leira entre 55 e 65°C durante a fase termófila, e como indicador de que os diferentes tratamentos estariam estabilizados sempre que a temperatura média ficasse abaixo de 40°C, por mais de três revolvimentos consecutivos. Assim, para esta pesquisa adotou-se o controle de temperatura como medida referencial para a estabilização do processo de compostagem.

A coleta de amostras do composto orgânico ocorreu após a identificação de estabilização de temperatura dos lotes, sendo encaminhadas para laboratórios interno e externo, para análises conforme metodologia determinada pelo MAPA por meio da instrução normativa vigente.

Para a análise estatística dos dados obtidos nesta pesquisa foi utilizada o software SAS 9.4, realizando-se a análise de variância e com as médias analisadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Resultados e discussão

Os dados relativos à composição química indicam que os produtos obtidos pelo processo de compostagem apresentam todos os elementos necessários à avaliação deste experimento e consequente classificação do composto orgânico em conformidade com a legislação brasileira.

Tabela 2. Média dos parâmetros agronômicos nitrogênio (%), carbono orgânico (%), relação carbono nitrogênio (C/N), pH, CTC (mmolc/Kg), relação CTC/C.

Tratamento	N total (%)	C (%)	C/N	pH	CTC (mmolc/Kg)	CTC/C
1	0,66 a	16,09 a	24,5/1 a	7,8 bcdef	752,1 a	47/1 c
2	0,52 cd	4,32 g	8,3/1 e	7,8 bcdef	307,6 ef	71,2/1 c
3	0,62 ab	4,00 g	6,5/1 f	7,7 ef	272,1 gh	68/1 c
4	0,54 bcd	9,35 b	17,3/1 b	7,7 def	488,7 b	52,3/1 c
5	0,59 abcd	8,54 c	14,5/1 c	8,3 a	459,6 b	53,8/1 c
6	0,58 abcd	7,62 d	13,2/1 c	7,8 cdef	337,0 e	44,2/1 c
7	0,54 bcd	1,39 j	2,6/1 h	7,9 bcd	247,2 h	186,1/1 a
8	0,54 bcd	2,31 i	4,3/1 g	8,1 ab	423,7 c	185,1/1 a
9	0,52 cd	5,52 f	10,8/1 d	7,6 f	372,1 d	67,7/1 c
10	0,38 e	3,14 h	8,3/1 e	8,0 bc	189,4 i	60,6/1 c
11	0,61 abc	6,30 e	10,4/1 d	7,8 bcdef	382,1 d	60,7/1 c
12	0,51 d	1,68 ij	3,3/1 gh	7,8 cdef	251,1 h	151,8/1 b
13	0,54 bcd	1,98 ij	3,6/1 gh	7,9 bcde	280,6 fgh	143,8/1 b
14	0,57 abcd	2,00 ij	3,5/1 gh	7,8 bcde	285,8 fg	143,6/1 b
15	0,61 abc	5,03 f	8,4/1 e	7,8 bcdef	334,6 e	66,5/1 c

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Turkey ($P>0,05$).

Ao final do estudo todos os tratamentos, à exceção do tratamento 10, alcançaram teores médios de nitrogênio acima do mínimo exigido pela IN 25/09, que estabelece o conteúdo mínimo de 0,5% de N para classificação do produto como fertilizante orgânico composto.

Este resultado pode ser explicado pelo fato de que os resíduos utilizados em maiores volumes possuíam baixos teores de nitrogênio, associado ao maior pH das cinzas utilizadas no tratamento que podem ser considerados um dos principais fatores na determinação das perdas de N, pois valores acima da neutralidade favorecem a formação de amônia. Souza et al. (2017) constataram que, em leiras de compostagem constituídas pelas mesmas fontes de carbono e nitrogênio, variando apenas a adição ou não de cinzas, os tratamentos sem a presença de cinzas apresentaram maiores concentrações de bactérias heterotróficas ao longo do processo, favorecendo, desta forma, a diminuição da perda de nitrogênio durante o processo de compostagem.

Apesar do baixo percentual médio de N em todos os tratamentos, difere-se dos demais o tratamento 1, que em sua composição utilizou apenas os resíduos com N total acima

de 1%, sendo 50% do volume referente ao Lodo de ETE que, em sua caracterização inicial, apresentou teor de nitrogênio acima de 2%.

Os resultados de todos os tratamentos também foram similares aos obtidos por Cunha Queda (1999), que afirma que as moléculas de nitrogênio presentes nos resíduos são degradadas durante a compostagem por microrganismos heterotróficos e transformadas em N amoniacal, o qual sofre volatilização por efeito de aumento da temperatura e do pH, originando uma diminuição do nitrogênio total do composto obtido, ao final do processo de compostagem.

Com referência ao carbono orgânico no processo de compostagem, este elemento é considerado fonte de energia para os microrganismos heterotróficos que degradam a massa, enquanto o nitrogênio é um elemento importante para a síntese de proteínas e consequente crescimento de suas colônias (Sharma et al., 1997)

Ao avaliarmos o percentual de carbono nos produtos obtidos após a compostagem, apenas o tratamento 1 obteve média acima de 15% de carbono orgânico, conforme determina a IN 25/09, para classificação como fertilizante orgânico composto. Para os demais tratamentos, houve redução acima do esperado na porcentagem média de carbono orgânico.

Kiehl (2012) afirma que as reduções de carbono observadas durante o processo de compostagem são decorrentes da assimilação deste elemento pelos microrganismos, sendo convertido da forma mineral para orgânica e o restante eliminado em forma de gás carbônico (CO₂). É possível constatar que, apesar das reduções indicadas, os resíduos utilizados no tratamento 1 possuíam teores de carbono orgânico de 28,55%, 34,1% e 57,6%, permitindo que o produto final alcançasse o percentual obtido.

A redução elevada no carbono orgânico dos demais tratamentos pode ser explicada não só pela utilização de C pelos microrganismos que atuam na compostagem, mas também pela perda para o meio ambiente na forma de gás carbônico e, se avaliarmos os tratamentos que obtiveram teores de carbono abaixo de 7%, podemos inferir que a presença das cinzas, nos tratamentos 11, 12, 13, 14 e 15, foi a causadora dos baixos teores alcançados, tendo influenciado negativamente nos tratamentos 3, 8 e 10.

Os valores obtidos neste trabalho para relação C/N nos tratamentos podem ser explicados por Zhu (2007), Li et al. (2008), Cayuela et al. (2009) e Gao et al. (2010) e Kiehl (2012), que indica a causa da redução de carbono orgânico por degradação da matéria orgânica e o aumento do nitrogênio em virtude da mineralização no nutriente.

A relação entre carbono e nitrogênio (C/N) é considerada um dos indicadores que melhor caracteriza a maturação do composto, pois a própria definição de compostagem, como processo biológico, considera os elementos carbono e nitrogênio fundamentais, em que C

representa em média 50% e N de 2 a 8%. A relação C/N depende dos microrganismos e do meio de crescimento, onde dois terços do carbono perdem-se como CO₂ e o outro terço é combinado com o nitrogênio nas reações celulares (Russo, 2004).

Para o pleno desenvolvimento da compostagem recomenda-se que a relação C/N inicial esteja entre 26/1 e 35/1 são considerados como favoráveis (Kiehl, 2012). Na prática, compostagens realizadas com diferentes fontes resíduos apresentam uma variação grande na relação C/N inicial, de 5/1 até mais de 100/1, indicando ser possível a ocorrência da compostagem mesmo em valores fora da faixa de relação ótima.

Considerando que a legislação brasileira exige que a relação C/N máxima seja de 20:1, para fertilizante orgânico composto, todos os tratamentos obtiveram esta classificação, sendo que apenas o tratamento 1 ultrapassou o limite máximo estabelecido, entretanto, esta mesma legislação não estabelece um indicador de tolerância para excesso neste caso.

Quando avaliamos o pH dos compostos obtidos nesta pesquisa, todos os tratamentos ficaram com teores próximos à neutralidade, ou levemente alcalinos e acima do mínimo exigido pela legislação brasileira, para classificação como fertilizante orgânico composto.

Os resultados obtidos são corroborados por Fiori et al., (2008), que acompanharam o pH durante o processo de compostagem de resíduos agroindustriais, incluindo dejetos e resíduos de beneficiamento de grãos, constatando pH 8,0 nos compostos obtidos. Kawatoko (2010), estudando compostagem de lodo gerado em indústria de papel e celulose, constatou resultados que evidenciam ter ocorrido um aumento do pH durante o processo de compostagem, corroborando os valores obtidos neste trabalho. Resultados semelhantes foram encontrados em trabalhos de Yang et al. (2008) e Kalamdhad e Kazmi (2009).

Conforme Kiehl (2012), este fato pode ser explicado pela maior concentração do nitrogênio, no início do processo de compostagem, estar em forma orgânica e, no decorrer do processo, transformar-se em nitratos, tornando o material em decomposição com pH mais elevado ainda, pela reação alcalina, característica da transformação da forma de nitrogênio por ações de microrganismos, ou seja, matérias-primas ou massa de compostagem com pH inicial ácido podem produzir compostos orgânicos com pH alcalino, em função da utilização dos ácidos formados como substrato para microrganismos que realizam o processo de humificação.

A capacidade de troca de cátions (CTC) indica a taxa de degradação do material e a capacidade do composto em reter nutrientes, sendo de grande importância para verificar o grau de estabilidade do composto. Isto ocorre porque as substâncias húmicas, que compõe o composto, são coloides eletronegativos com grande superfície específica. Gomes et al., (2018) mencionam que valores de CTC e CTC/C mais elevados, bem como menor relação C/N,

apontam também para a maior estabilização da matéria orgânica (maior grau de humificação) do composto.

Dores-Silva et al., (2013) constataram que CTC apresentou uma tendência de aumento após os processos de compostagem, sugerindo que os coloides orgânicos do composto têm uma maior habilidade em adsorver cátions na solução do solo, podendo depois cedê-los ou efetuar trocas, caso ocorra uma concentração de íons diferente ou uma variação de pH.

Comparando-se a média dos tratamentos com o mínimo exigido pela legislação brasileira para registro como condicionador de solos, apenas o tratamento 10, que apresentou média de 189 mmolc/kg, não atinge o mínimo necessário de 200 mmolc/kg.

A relação CTC/C também pode ser utilizada para estimar o grau de maturação dos compostos, de forma que quanto maior o valor, mais humificado o composto (Kiehl, 2012). A relação CTC/C pode ser considerada mais apropriada que a relação C/N, para indicar o grau de humificação de materiais orgânicos, pois esta pode ser afetada pela presença de N amoniacal, como o caso do esterco de galinha, fato este também mostrado em estudos como os de Paiva et al., (2013). Neste trabalho, todos os tratamentos obtiveram resultado de relação CTC/C acima de 44, sendo maiores que os de Massukado (2008), Melo et al., (2008) e Guermandi (2015), indicando, desta forma, que os compostos produzidos foram devidamente maturados.

Tabela 3. Média dos parâmetros agrônômicos capacidade de retenção de água (%), umidade (%), fósforo (%) e potássio (%).

Tratamento	CRA (%)	Umidade (%)	P (%)	K(%)
1	117,3 a	26,0 a	2,62 a	0,94 abc
2	114,4 a	27,3 a	1,13 efg	1,00 ab
3	92,3 b	27,6 a	1,90 abcd	0,97 abc
4	93,6 b	28,1 a	2,05 abc	1,03 a
5	92,1 b	27,0 a	2,40 a	1,00 ab
6	92,0 bc	29,6 a	2,05 abc	0,79 bc
7	94,1 bc	27,0 a	1,44 bcdefg	0,85 abc
8	90,7 bcd	27,1 a	1,34 cdefg	0,93 abc
9	80,8 bcde	28,3 a	2,18 ab	0,88 abc
10	76,9 bcde	27,1 a	0,87 fg	1,05 a
11	73,4 bcde	24,3 a	0,79 g	1,01 ab
12	74,4 cde	26,9 a	1,20 defg	0,75 c
13	79,6 cde	27,7 a	2,06 abc	0,97 abc
14	78,0 de	28,1 a	1,65 bcde	0,83 abc
15	76,4 e	28,6 a	1,55 bcdef	0,99 ab

Médias seguidas das mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de Turkey ($P>0,05$).

A capacidade de retenção de água é a porcentagem de absorção de água em relação à massa de um composto orgânico. Quando avaliamos as médias de CRA obtidas neste estudo, os resultados encontrados foram próximos aos constatados por Massukado (2008), Melo et al., (2008), e menores que os obtidos por Guermandi (2015). Segundo Kiehl (2012), conforme o resíduo orgânico vai se decompondo e formando o húmus, a capacidade de retenção de água aumenta, portanto, este parâmetro está interligado à quantidade de matéria orgânica ao final do processo de humificação. A maior CRA observada ocorreu no tratamento 1, que se avaliado em conjunto com o resultado obtido no carbono orgânico, indica que este tratamento obteve o composto melhor humificado.

O decréscimo da umidade na compostagem é um comportamento esperado, pois vários são os fatores que interferem na umidade, principalmente o revolvimento das pilhas e altas temperaturas. Os valores ideais para a umidade final são de 25-35%, como descrito por Kiehl (2012). Nesta pesquisa, a umidade foi o parâmetro analisado que apresentou menor variação e sendo assim todos os tratamentos, que não apresentaram diferença significativa estatisticamente estão dentro dos padrões preestabelecidos, atendendo à legislação brasileira vigente.

Apesar de não possuírem um percentual mínimo exigido na legislação vigente, avaliou-se também os macronutrientes fósforo (P) e potássio (K). Os resultados mostraram maior presença nos tratamentos 1 e 10 respectivamente. Os resultados sugerem que o pH alcalino favoreceu a adsorção do fósforo às moléculas de cálcio e magnésio, causando sua indisponibilidade temporária, concordando com Tumuhairwe et al. (2009) que verificaram reduções no teor de fósforo durante a compostagem da mistura de resíduos de vegetais e atribuíram tal fato a pouca mobilidade desse macromineral e à formação de complexos insolúveis com o cálcio e o magnésio da matéria orgânica em pH alcalino. Para K, a variabilidade dos resultados pode ser atribuída à lixiviação, uma vez que o íon de K é muito solúvel e móvel.

Vários autores consideram o resíduo de lodo como baixo K, pois é encontrado predominantemente na forma iônica, que tende a permanecer em solução durante o processo de tratamento de efluentes, sendo recomendada constantemente a complementação química com esse elemento (Simonete et al. 2003; Bueno et al., 2011; Guedes et al., 2016;).

Segundo Orrico Junior et al. (2012), a lixiviação dos nutrientes pode ocorrer principalmente no final do processo de compostagem, quando grande parte dos nutrientes está na forma solúvel, aumentando a chance de perda. Entretanto, no presente estudo, o fósforo e potássio não foram considerados elementos limitadores, pois as quantidades encontradas podem

ser declaradas no momento de registro do produto junto ao MAPA, não havendo um mínimo estipulado para declaração destes nutrientes.

Conclusões

Pelos resultados obtidos nesta pesquisa, conclui-se o processo de compostagem é uma alternativa viável para o tratamento dos resíduos orgânicos estudados, sendo que, novos estudos podem completar a investigação para definir os melhores percentuais de misturas destes materiais e ainda, os mecanismos que levam à diminuição ou aumento dos elementos químicos analisados, visando a facilitar a produção de compostos capazes de atingir a classificação como fertilizante orgânico composto, em conformidade com a legislação vigente.

Conforme a Instrução Normativa MAPA/SDA 35 de 2006, vigente à época do estudo, os compostos orgânicos obtidos pelo processo de compostagem podem ser classificados como condicionador de solos, incluindo o tratamento 10, conforme limites de tolerância determinados pela legislação brasileira.

Referências

- Agnew M.; Leonard J.J.** The Physical Properties of Compost, *Compost Science & Utilization*, 11:3, p. 238-264. 2003. DOI: 10.1080/1065657X.2003.10702132
- Barreira, L.P.** Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. 204p. DOI: 10.11606/T.6.2005.tde-08032006-111308
- Bueno J.R.P.; Berton, R.S.; Silveira, A.P.D.; Chiba, M.K.; Andrade, C.A; Maria, I.C.** Atributos químicos e microbiológicos de um latossolo tratado com aplicações sucessivas de lodo de esgoto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 35: 1461-1470. 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000400040
- Cayuela, M.L., Mondini, C., Insam, H., Sinnico, T., Franke–Whittle, I.** Plant and animal wastes composting: Effects of the N source on process performance. *Bioresource Technology*, v.100, p.3096-3106, 2009. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.01.027
- Cunha Queda, A.C.F.** Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. Tese (Doutorado). Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia. Lisboa. 257 p. 1999.
- Dores-Silva, P.R., Landgraf, M.D., Rezende, M.O.O.** Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. *Química Nova*, 36(5), 2013, p.640-645. DOI: 10.1590/S0100-40422013000500005
- Estrella-González, M.J.; Jurado, M.M.; Suárez-Estrella, F., López, M.J.; López-González, J.A.; Siles-Castellano, A.; Moreno, J.** Enzymatic profiles associated with the evolution of the lignocellulosic fraction during industrial-scale composting of anthropogenic waste: Comparative analysis. *Journal of Environmental Management* 248, 2019, p 1-11. DOI:10.1016/j.jenvman.2019.109602
- Epstein, E.** The Science of Composting. CRC Press, 1997. 505p. DOI: 10.1201/9780203736005.
- Fiori, M.G.S.; Schoenhals, M.; Follador, F.A.C.** Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. *Engenharia Ambiental*, v.5, n.3, p. 178-191, 2008. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=164>
- Fernandes, F., Silva, S.M.C.P.** Manual prático de compostagem de biossólidos. Rio de Janeiro: PROSAB; 1999. 84 p.

- Gao, M., Li, B., Yu, a., Liang, F., Yang, F., Sun, Y.** The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. *Bioresource Technology*, v.101, p.1899-1903, 2010. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.10.027
- Gomes, T.C.A., Araújo, J.L.P., Santos, T.A., Melo, P.L.A., Pereira, K.T.O., Costa Junior, J.C.C., Santos, T.C.** Reciclagem de vinhaça via compostagem em larga escala. *Embrapa CT* 218, 2018 18p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1104282/1/COT218.pdf>
- González-Fernández, J.J., Galea, Z., Puente, J.M.A., Hormaza, J.I.** Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole production residues. *Journal of Environmental Management*. Sevilla, v.147, p. 132-139. 2015. DOI: 10.1016/j.jenvman.2014.09.016
- Guedes, M.C.; Andrade, 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*, 30:267-280. 2016. DOI: 10.1590/S0100-06832006000200008
- Guermandi, J.I.** Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP. Dissertação (mestrado) Escola de Engenharia de São Carlos – USP. 2015. 181 p. DOI:10.11606/D.18.2015.tde-16122015-142245
- Hassen A.; Belguith K.; Jedidi N.; Cherif A.; Cherif M.; Boudabous A.** Microbial characterization during composting of municipal solid waste. *Bioresour. Technol.* 80 (3): 217–225. 2001. DOI: 10.1016/s0960-8524(01)00065-7
- Herbets, R.A., Coelho, C.R.A., Miletti, L.C., Mendonca, M.M.** Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. *Health and Environment Journal*, v. 6, n.1, p. 41-50, 2005.
- Kalamdhad, A.S.; Kazmi, A.A.** Rotary drum composting of different organic waste mixtures. *Waste Management & Research*, v.27, p.129-137, 2009 DOI: 10.1177/0734242X08091865
- Kawatoko, I; Rizk, M.C.** Tratamento do lodo gerado na indústria de reciclagem de papel por compostagem. *Estudos Tecnológicos* 6. 2010. p. 68- 81. DOI: 10.4013/ete.2010.62.02
- Kianirad, M.; Muazardalan, M.; Savaghebi, G.; Farahbakhsh, M.; Mirdamadi, S.** Effects of temperature treatment on corn cob composting and reducing of composting time: A comparative study. *Waste Management & Research*, v.28, p.882-887, 2010. DOI: 10.1177/0734242X09342359

- Kiehl, E.J.** Manual de Compostagem - Maturação e Qualidade do Composto. Piracicaba, 2012. 6 ed., 171 p.
- Li. X., Zhang. R., Pang, Y.** Characteristics of dairy manure composting with rice straw. *Bioresource Technology*, v.99, p.367-368, 2008. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.12.009
- Massukado, L.M.** Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta para software livre para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares. 2008. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP. DOI: 10.11606/T.18.2008.tde-18112008-084858
- Melo, L.C.A.; Silva, C.A.; Dias, B.O.** Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.101-110, 2008. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180214230010>
- Orrico Junior, M.A.P.; Orrico, A.C.A; Lucas Junior, J.de; Sampaio, A.A.M.; Fernandes, A.R.M.; Oliveira, E.A.** Compostagem dos dejetos de bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 5, p. 1301-1307, 2012. DOI: 10.1590/S1516-35982012000500030
- Paiva, E.C.R., Matos, A.T., Barros, R.T., Costa, T.D.R.** Análise comparativa da adequação da relação C/N e do índice CT / COT como parâmetros da evolução da compostagem. In: Congresso Brasileiro De Gestão Ambiental, 4., 2013, Salvador. Anais: Salvador: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais e de Saneamento
- Roman, P., Martinez, M.M.; Pantoja, A.** Farmer's Compost Handbook: Experiences in Latin America. Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i3388e.pdf>
- Russo, M.A.T.** Introdução à compostagem de resíduos sólidos. Escola Superior de tecnologia e Gestão, Instituto Superior Politécnico de Viana do Castelo, 81 p. 2004.
- Sharma, V.K., Caudatelli, M., Fortuna, F., Cornacchia, C.** Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: review. *Energy Conversion and Management*. v.38, p.453-478, 1997.
- Simonete, M.A.; Kiehl, J.C.; Andrade, C.A.; Teixeira, C.F.A.** Efeito do lodo de esgoto em um argissolo e no crescimento e nutrição de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 38:1187-195. 2003. DOI: 10.1590/S0100-204X2003001000008
- Souza, A.V.D., Pimenta, A.F., Marques, V.C., Presumido, P.H., Silva, J.S., Betio, M.M., Dal Bosco, T.C., Prates, K.V.M.C.** Pré-compostagem e vermicompostagem de lodo biológico de laticínio. In: Dal Bosco, T.C. (Org.). Compostagem e vermicompostagem

de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Ed. Blucher, 2017. 266 p. DOI: 10.5151/9788580392371-06

Tumuhairwe, J.B.; Tenywa, J.S.; Otabbong E.; Ledin, S. Comparison of four low-technology composting methods for market crop wastes. *Waste Management*, v.29, p.2274-2281, 2009. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.03.015

Yang, Y.; Zhang, X.; Yang, Z.; Xi, B.; Liu, H. Turnover and loss of nitrogenous compounds during composting of food wastes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, v.2, p.251-256, 2008. DOI: 10.1007/s11783-008-0042-8

Valente, B.S.; Xavier, E.G., Morselli, T.B.G.A., Jahnke D.S., Brum Jr., B.de S.; Cabrera, B.R.; Moraes, P.de O.; Lopes, D.C.N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia, Córdoba*, v. 58, n. 1, p. 9-85, abr. 2009. Disponível em: http://www.uco.es/organiza/servicios/publica/az/php/img/web/07_18_48_1395REVISIONFatoresValente1.pdf

Wei Y.,Wua, D., Weic D., Zhaoa, Y., Wua, J., Xiea, X., Zhanga R., Weia, Z. Improved lignocellulose-degrading performance during straw composting from diverse sources with actinomycetes inoculation by regulating the key enzyme activities. *Bioresource Technology* 271, 2019, p. 66–74. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.09.081 **ZHU, N.** Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. *Bioresource Technology*, v.101, p.222-227, 2007. DOI: 10.1016/j.biortech.2005.12.003

Capítulo 2. Crescimento de *Cedrela fissilis* Vell. em função do uso de condicionador de solos como substrato.

Resumo – A produção de espécies nativas para o uso em plantios heterogêneos, visando à restauração ecológica de áreas degradadas, ainda demanda muitas pesquisas, incluindo o conhecimento sobre melhores substratos e o consequente crescimento inicial dessas mudas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar o crescimento inicial de mudas de *Cedrela fissilis* Vell., em diferentes substratos obtidos a partir do processo de compostagem. Os tratamentos foram constituídos de cinco diferentes substratos, compostados a partir de diferentes resíduos: T1) 50% Lodo de ETE + 25% sobras de alimentos + 25% de podas trituradas; T2) 50% Lodo de ETE + 25% terra diatomácea + 25% de podas trituradas; T3) 50% Lodo de ETE + 25% cinzas de biomassa + 25 % de podas trituradas; T4) 50% terra diatomácea + 25% sobras de alimentos + 25% podas trituradas; e T5) 50% cinzas de biomassa + 25% sobras de alimentos + 25% podas trituradas. Avaliaram-se os seguintes parâmetros morfológicos: altura, número de folhas, tamanho de raiz, massa seca da parte aérea, massa seca da raiz, massa seca total, diâmetro de colo, a razão entre altura e diâmetro de colo, a razão entre massa seca de parte aérea e raízes e, ainda, o índice de qualidade de Dickson. Verificou-se que o melhor crescimento e qualidade de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. (cedro-rosa), produzidas em viveiro, foram obtidos com T1, provavelmente devido à maior presença de carbono orgânico neste substrato.

Palavras chaves: cedro; produção mudas; espécie nativa.

Chapter 2. Growth of *Cedrela fissilis* Vell. due to the use of soil conditioner as substrate.

Abstract: The production of native species in heterogeneous plantations for ecological restoration of degraded areas still requires extensive research, including knowledge on better substrates and their consequent use in initial growth of these seedlings. The aim of this research was to evaluate the initial growth of pink cedar (*Cedrela fissilis* Vell.) seedlings in different substrates obtained from the composting process. The treatments consisted of five different substrates composted from different residues: T1) 50% sludge + 25% leftover food + 25% shredded pruning; T2) 50% sludge + 25% diatomaceous earth + 25% crushed pruning; T3) 50% sludge + 25% biomass ash + 25% crushed pruning; T4) 50% diatomaceous earth + 25% leftover food + 25% shredded pruning; and T5) 50% biomass ash + 25% leftover food + 25% shredded pruning. To confirm the results of each organic compound, the following morphological parameters were evaluated: height, number of leaves, root size, shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, neck diameter, the ratio between height and neck diameter, the ratio between dry mass of shoots and roots, as well as the Dickson quality index. It was found that the best growth and quality of pink cedar seedlings produced in nursery were obtained with T1, probably due to the higher presence of organic carbon in this substrate.

Keywords: cedar; seedlings production; native species.

Introdução

O uso de espécies florestais nativas, para produção de madeira ou para enriquecimento de matas e recuperação de áreas degradadas, é dificultado pela carência de informações sobre suas exigências nutricionais nas fases de produção de mudas, estabelecimento e desenvolvimento no campo (Gonçalves *et al.*, 2012).

Em 2001, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo fixou orientações para a restauração ecológica, apresentando uma lista exemplificativa com 247 espécies arbóreas e orientando critérios mínimos a serem adotados por um reflorestamento compensatório. Barbosa & Martins (2003) publicaram uma lista também exemplificativa, onde foram apresentadas 76 famílias e 589 espécies arbóreo-arbustivas, classificadas em ordem alfabética de família, gênero e espécie, indicadas para plantios destinados à restauração ecológica no estado de São Paulo. Posteriormente, um anexo da Resolução SMA Nº 08 de 2008, que fixou orientações para os reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas, disponibilizou uma listagem com 79 famílias e 701 espécies arbóreas e arbustivas (Barbosa, 2017).

Uma das espécies nativas de grande importância econômica para o Brasil, devido à sua ampla utilização em marcenarias, construção naval e aeronáutica, é *Cedrela fissilis* Vell. (família Meliaceae), denominada popularmente cedro (Xavier *et al.*, 2003). Este pertence ao grupo das espécies sucessionais secundárias iniciais a secundárias tardias e ocorre desde o estado do Pará até o Rio Grande do Sul. Além do seu valor madeireiro, trata-se de espécie melífera que pode ser empregada em projetos de arborização urbana (Lorenzi, 2016), bem como é especialmente recomendada na recuperação de áreas degradadas e de matas ciliares não inundáveis (Durigan *et al.*, 2002).

Para Caldas (2006), o cedro rosa está entre as espécies prioritárias para a implantação de pomares de sementes, tanto para produção de sementes para restauração ambiental, como exploração econômica, já que esta ocorre em três importantes biomas do Brasil: Cerrado, Mata Atlântica e Pantanal. No estado de São Paulo a utilização do cedro rosa em projetos de restauração florestal corresponde a 53%, sendo a oitava espécie mais plantada, segundo Barbosa *et al.* (2003). Os dados de exportações de madeiras nativas brasileiras relatam que o cedro-rosa aparece em quarto lugar dentre as espécies mais exportadas, apresentando ainda uma tendência crescente no mercado internacional de madeiras (Lima e Munk, 2015).

O interesse econômico na espécie vem desde a época colonial, motivando sua intensa exploração nas formações florestais nativas e exaurindo exemplares adultos com diâmetro e fuste adequados ao corte (Minetti, 2006). Esse interesse aliado à posterior expansão urbana e

agrícola fizeram com que o cedro sofresse grande redução do número de indivíduos, nas formações florestais.

A espécie também é uma das árvores nativas mais eficientes no incremento médio anual em diâmetro, sendo que, na região sul do Brasil, esse ganho é de 1,1 cm (Cusatis *et al.*, 2013). Quando comparada a outras cinco importantes plantas madeiráveis nativas, De La Reta *et al.* (2015) constataram que *C. fissilis* foi a que apresentou maior desenvolvimento em altura, diâmetro e produção de biomassa. Esta condição faz do cedro-rosa uma das principais essências nativas escolhidas para plantios comerciais para fins madeireiros (Grignola *et al.*, 2014).

As avaliações de substratos para espécies nativas têm-se ampliando, buscando, principalmente, a redução de custo e a melhoria no desenvolvimento e na qualidade das mudas. Assim, enquanto Scalón *et al.* (2011) utilizaram substratos a base de terra, areia e diferentes proporções de adubo orgânico ou químico, Ferreira *et al.* (2009) usaram terra, areia e terra, vermiculita, areia e diferentes substratos comerciais, Danner *et al.* (2007) utilizaram; substrato comercial, terra de mata nativa e vermicomposto, terra de mata nativa, vermicomposto e areia, terra de mata nativa, vermicomposto e vermiculita e vermicomposto, Mesquita *et al.* (2011) usaram solo e esterco bovino; solo, esterco bovino e areia; solo, esterco bovino e palha de arroz carbonizada; solo, esterco bovino e pó de coco; solo, esterco bovino e vermiculita.

Para Nogueira e Brancalion (2016), mudas de qualidade são mais resistentes aos estresses de campo e, por isso, proporcionam maior sobrevivência e crescimento inicial após o plantio, trazendo grandes benefícios para o desenvolvimento da floresta plantada com essas mudas. Para tanto, as mudas devem apresentar sistema radicular íntegro e agregado ao substrato, ausência de deficiências nutricionais, colo grosso e lignificado que sustente a muda ereta após o plantio e, ainda, altura proporcional ao tamanho do recipiente e ao volume radicular, sendo todos estes parâmetros diretamente ligados a qualidade do substrato utilizado.

Em razão de sua importância econômica e ecológica e por estar no grupo das espécies ameaçadas de extinção no ecossistema brasileiro (Paulilo *et al.*, 2007), alguns estudos relacionados à nutrição do cedro foram realizados visando à melhoria da qualidade das mudas.

A introdução de componentes alternativos ao solo, em diferentes proporções, também têm sido testados, principalmente em razão da necessidade de se reduzir os custos de produção das mudas e aproveitar resíduos que anteriormente seriam descartados. Maranhão e Paiva (2012) testaram diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açaí, misturado à terra de mata, e verificaram que o substrato constituído por 100% do resíduo de açaí e com terra de mata propiciou maior crescimento das mudas. Para a produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell,

Oliveira *et al.* (2008) indicaram substratos à base de húmus de minhoca, casca de amendoim processada e turfa, como os mais adequados.

Levando-se em consideração que o cedro comporta-se como uma espécie secundária inicial ou secundária tardia, a demanda por nutrientes para uma maior taxa de crescimento inicial é alta. A utilização da fertilização em viveiros de produção de mudas e a determinação do melhor recipiente são essenciais, para que cresçam rapidamente com características vigorosas, resistentes, rústicas e, principalmente, bem nutridas. Somente desta maneira estas mudas resistirão às mais variadas condições após o plantio.

Na literatura, as pesquisas voltadas para a produção de mudas de cedro-rosa ainda são incipientes, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos relacionados com as técnicas de propagação e manejo pós-plantio, para a obtenção de mudas de qualidade que atendam a demanda e as exigências do setor florestal (Oliveira, 2016).

De acordo com Barbosa *et al.* (2014), a composição dos substratos empregados em diferentes recipientes podem apresentar algumas diferenças, sobretudo no que concerne à porosidade, visto que os que apresentarem maior volume, possibilitam o emprego de substratos com menor porosidade. Entretanto estes substratos devem possuir características que forneçam suporte as plantas, permitam aeração e ao mesmo tempo capacidade de retenção de água adequados, ser leve e de fácil manuseio e economicamente viável.

Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar o crescimento inicial de mudas de *Cedrella fissilis* Vell., em diferentes substratos a base de composto orgânico produzido à partir de resíduos orgânicos diversos.

Materiais e métodos

Este trabalho foi implantado entre abril e novembro de 2018, realizado em viveiro telado, no município de Elias Fausto/SP, dentro das dependências da empresa Ecomark Indústria e Comércio de Fertilizantes Especiais Ltda.

O Cedro (*Cedrella fissilis*) foi escolhido por ser uma espécie de grande importância para a economia nacional e por ser muito utilizada para reflorestamentos heterogêneos, sendo caracterizada como uma espécie não pioneira e também como diversidade, conforme orientação da lista de espécies indicadas para restauração ecológica no estado de São Paulo (Barbosa, 2017), como espécie nativa com ocorrência no domínio fitogeográfico de Floresta Estacional Semidecídua, para a região ecológica centro, onde foi conduzido este estudo.

As mudas foram adquiridas em viveiros com origem de sementes conhecidas, em recipientes de 56 cm³ e replantadas em vasos plásticos específicos para produção de mudas

florestais, com volume de 10 litros. Estes vasos foram preenchidos com os diferentes tipos de substratos testados neste estudo, preparados com diferentes tipos de composto orgânico, produzido a partir da compostagem de resíduos orgânicos com as seguintes proporções: T1) 50% Lodo de ETE + 25% sobras de alimentos + 25% de poda trituradas; T2) 50% Lodo de ETE + 25% terra diatomácea + 25% de podas trituradas; T3) 50% Lodo de ETE + 25% cinzas de biomassa; 25% de podas trituradas; T4) 50% terra diatomácea + 25% sobras de alimentos + 25% podas trituradas; e T5) 50% cinzas de biomassa + 25% sobra de alimentos + 25% podas trituradas. Estes compostos foram selecionados a partir de outro estudo, que foi conduzido para testar a compostagem de 15 diferentes misturas dos cinco resíduos orgânicos.



Figura 6. Composto orgânico obtido pelo tratamento 1 e utilizado como sustrato para mudas de cedro.

Após o replantio das mudas nos vasos, estas permaneceram sobre mesas metálicas, no viveiro, com nível de sombreamento de 50% durante um período de 180 dias, sendo irrigadas de forma manual duas vezes por dia, por sistema de aspersão durante 15 minutos cada vez, considerando-se sempre as condições ambientais diárias ao longo do estudo.



Figura 7. Mudanças de *Cedrela fissilis* Vell., identificadas e acondicionadas em vasos plásticos sob bancada metálica.

O experimento foi implantado em blocos casualizados, onde foram utilizados os cinco tratamentos e 4 repetições. É importante mencionar que este experimento foi conduzido concomitantemente com estudo similar para outras nove espécies arbóreas nativas, sendo que as mudas de cada repetição foram dispostas aleatoriamente com as demais espécies.

Os dados necessários para este estudo foram coletados da seguinte forma: altura da parte aérea (H), número de folhas (NF), tamanho de raiz (TR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST) e, ainda, o diâmetro de colo (DC)

A altura das plantas foi determinada considerando o nível do substrato até a última gema apical e o tamanho da raiz medindo-se o comprimento do colo da planta até o final da raiz, utilizando-se uma régua graduada em milímetros para ambas as coletas. O número de folhas foi obtido por meio de contagem direta.



Figura 8. Raízes limpas e prontas para coleta de dados de tamanho, massa úmida e massa seca.

As determinações das massas secas foram efetuadas a partir do material lavado em água potável, para retirada de todo o substrato e seco, em estufa regulada para 65°C por 24 horas. Para o parâmetro de diâmetro de colo os dados foram coletados com uso de paquímetro com resolução de 0,05mm.



Figura 9. Estufa de circulação forçada preparada secagem das plantas estudadas.

Outros parâmetros foram estudados visando a determinar a qualidade das mudas, sendo a razão entre altura e diâmetro de colo (H/DC), razão entre massa seca de parte aérea e raízes (MSPA/MSR) e ainda o índice de qualidade de Dickson (IQD), calculado da seguinte forma:

$$IQD = MST / [(H/DC) + (MSPA/MSR)].$$

Para testar as hipóteses deste trabalho, os dados foram submetidos aos testes de homogeneidade de variância (Box-Cox) e dada a significância da análise de variância, foi

realizado o teste de comparação múltipla (Tukey a 5% de probabilidade) para comparação das médias. Todas as análises foram processadas utilizando-se o Software SAS 9.4.

Resultados e discussão

Ao longo do período de estudo, as mudas apresentaram desenvolvimento satisfatório, provavelmente favorecido pelo constante cuidado com a irrigação e a presença de nutrientes no condicionador de solos, devido ao crescimento constatado e à ausência de sintomas de deficiência nutricional. Pela análise de variância, o tratamento 1 apresentou efeitos significativos pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) para os parâmetros altura, número de folhas, tamanho de raiz, massa seca de raízes, massa seca total, diâmetro de colo, relação entre altura e diâmetro de colo.

Assim, avaliando o incremento de altura das plantas, verifica-se que as mudas do tratamento 1, que apresentavam altura médias aproximada de 20 cm, ao final dos seis meses do experimento apresentavam um crescimento médio de 21,5 cm.

Tabela 4. Resumo da análise de variância para características de altura, número de folhas e tamanho de raiz, para mudas de *Cedrela fissilis* Vell., plantadas em vasos com diferentes tipos de substrato.

Tratamentos	Hi	Hf	NFi	NFf	TR
T1	20,06 a	41,56 a	8,88 a	26,63 a	35,37 a
T2	21,81 a	34,31 ab	8,81 a	16,81 b	20,06 b
T3	20,94 a	30,82 b	8,81 a	17,31 b	21,63 b
T4	20,88 a	32,38 b	8,19 a	16,75 b	19,25 b
T5	20,06 a	31,25 b	10,19 a	18,13 b	17,75 b

As médias seguidas pela mesma letra, em coluna, para cada parâmetro, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Hi: altura inicial; Hf: altura final; NFi: número de folhas inicial; NFf: número de folhas final; TR: tamanho de raiz.

Os substratos T2, T4 e T5 não diferiram estatisticamente entre si, apresentando apenas pequenas diferenças de valor para as médias de altura final das mudas. O substrato T3 apresentou o pior crescimento das plantas durante o período do experimento, apresentando um crescimento médio de 10,74 cm menor que T1.

De acordo com Gonçalves *et al.* (2000), mudas de espécies nativas de boa qualidade para plantio devem possuir altura entre 20 a 35 cm e o diâmetro do colo entre 5 a 10 mm, contudo, esta afirmação é muito ampla, devendo os requisitos mínimos para plantio serem determinados para cada espécie, demonstrando que as mudas de cedro atingiram o tamanho máximo recomendado.

Oliveira *et al.* (2014), em estudo a partir da sementeira de cedro, com oito diferentes substratos a partir da mistura de areia, solo, esterco e substrato comercial, concluíram que o melhor crescimento das mudas foi obtido com o tratamento areia+solo+esterco, com altura média de 42,1 cm., após cinco meses de estudo, enquanto Roweder *et al.* (2012) observaram altura média de 6,8 cm e 8,7 cm, quando avaliaram *Cedrela odorata* L. em quatro diferentes substratos, aos 63 dias após a sementeira, mencionando que para o cedro, que possui características de fácil adaptabilidade, substratos que garantam boa relação ar, água e nutrientes apresentam considerável potencial para a produção de mudas, apresentando bom desempenho com substratos à base de compostos.

Souza *et al.* (2009) obtiveram altura média de cedro-rosa de 13,2 cm para a planta controle e 23,6 cm quando utilizou solução completa de nutrientes, aos 110 dias após o plantio. Cherobini *et al.* (2008) obtiveram mudas de cedro-rosa com 14,7 cm aos 45 dias após a sementeira.

Neste sentido, Oliveira *et al.* (2008) ao estudar os efeitos de diferentes substratos no desenvolvimento de quatro essências florestais, incluindo o cedro, verificaram que os substratos com 35% de vermicomposto garantem melhores porcentagens de emergência e desenvolvimento da planta, constatando altura média de 14,4 cm aos 95 dias após a sementeira.

Caldeira *et al.* (2013), utilizando substratos alternativos para a produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*, encontraram os maiores valores de altura aos 150 dias após a sementeira, nas mudas produzidas com 80% de lodo, 10% de casca de arroz carbonizada (CAC) e 10% de palha de café (PC) in natura; e 60% de lodo, 20% CAC e 20% PC, indicando que substratos a base de lodo podem apresentar potencial nutricional para mudas nativas.

O número de folhas não é normalmente utilizado como característica de qualidade de mudas nos estudos de crescimento de mudas, mas pode agregar informações a outras características avaliadas. Nesse sentido, constata-se que T1 apresentou um incremento significativo em número de folhas para os demais tratamentos, com uma média de ganho de quase 18 folhas após o período de estudo, totalizando uma média de 26,6 folhas por planta, seguido por T5 que apresentou 18,1 folhas em média, sendo que este tratamento não apresentou diferença estatística para T3, T2 e T4 respectivamente.

Se considerarmos que o maior número de folhas em uma planta proporciona uma maior área foliar (AF), Lima Filho (2015) verificou maior AF das mudas de *Ceiba speciosa* produzidas em vasos de 20 L, com adição de 1,6 L.vaso⁻¹ de condicionador de solo à base de lodo de esgoto ao solo do vaso, em relação à adubação feita com fertilizantes minerais simples. Desta forma, espera-se que se o plantio de mudas seja realizado em locais de baixa

luminosidade, a maior AF pode ser benéfica, tendo em vista que haverá ampliação da interceptação da energia luminosa e consequente melhora na fotossíntese (Forrester, 2013).

O crescimento radicular é um parâmetro pouco utilizado para avaliar o crescimento de plantas, entretanto é um indicativo da capacidade da planta absorver e armazenar de forma eficiente, os nutrientes disponíveis nos substratos, contribuindo deste modo com a melhor qualidade das mudas. Assim, neste estudo, pode-se encontrar um melhor crescimento das raízes no T1, que apresentou tamanho excelente na formação, com média de 35,37 cm de comprimento, sendo, em média 17,5 cm maior que o T3, que apresentou a menor média de tamanho de raízes.

Tanto a sobrevivência quanto o crescimento inicial das mudas, após o plantio no campo, estão diretamente correlacionadas com o peso da matéria seca das mudas (Gomes e Paiva, 2011).

Ao avaliarmos MSPA, os tratamentos não apresentaram diferença estatística, entretanto, T1 apresentou o maior peso médio. Apesar de diferirem estatisticamente de T1, a diferença percentual encontrada foi de 3,6%, 18,1%, 18,7% e 23,2% para T2, T4, T5 e T3 respectivamente.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para as características morfológicas e para os índices de qualidade de mudas de *Cedrela fissilis* Vell., plantadas em vasos com diferentes tipos de substrato, avaliados 180 dias após o plantio.

Tratamentos	MSPA	MSR	MST	DC	H/DC	MSPA/MSR	IQD
T1	20,75 a	19,00 a	39,75 a	8,44 a	5,05 a	1,33 b	6,61 a
T2	20,00 a	13,81 ab	33,81 ab	6,63 bc	5,29 a	1,67 ab	5,13 ab
T3	15,93 a	9,06 b	25,00 b	5,88 c	5,31 a	1,95 ab	3,60 c
T4	17,00 a	9,75 b	26,75 b	7,18 b	4,62 a	2,03 ab	4,25 b
T5	16,86 a	8,06 b	24,94 b	7,50 ab	4,21 a	2,47 a	3,99 bc

As médias seguidas pela mesma letra, em coluna, para cada parâmetro não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca das raízes; MST: massa seca total, DC: diâmetro de colo; H/DC: relação entre a altura final e o diâmetro de colo; MSPA/MSR: razão entre massa seca da parte aérea e das raízes; IQD: índice de qualidade de Dickson.

Segundo Trazzi *et al.* (2014), há relação entre nutrientes na fase de rustificação e o engrossamento do caule, cujo fornecimento adequado garante maior eficiência no controle da abertura estomática, o que faz com que as folhas percam menos água nas horas mais quentes do dia, aumentando, assim, a sua resistência às condições adversas do campo. Em trabalho utilizando composto de lodo de esgoto e casca de arroz carbonizada na composição de substrato,

realizados por Rocha *et al.* (2013), para produção de mudas de eucalipto, foi observada maior área foliar no tratamento com 60% de composto de lodo com podas trituradas.

Delarmelina *et al.* (2013), utilizando lodo de esgoto e outros resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata*, encontraram os maiores valores de MSPA, sem diferença estatística entre si, nos tratamentos utilizando 80, 60 e 40% de LET associado ao composto orgânico, sendo que composto orgânico utilizado pelos autores foi preparado previamente pela mistura de esterco e palha de café.

Quanto a MSR, o tratamento 1 apresentou o maior peso, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos e apresentando um ganho médio de 11 gramas a mais do que T5, corroborando os dados obtidos para o tamanho da raiz., o que sugere a formação de sistema radicular mais ativo.

Gomes e Paiva (2011) indicam que o estabelecimento e a sobrevivência nos reflorestamentos são consideravelmente maiores quanto maior o for o sistema radicular, independente da altura da parte aérea, podendo ser representado pela MSR, o que indica que as mudas produzidas no tratamento 1 possuem maior probabilidade de sobrevivência pós-plantio. Roweder *et al.* (2012) encontraram maior massa seca da parte aérea de *Cedrela odorata* com o uso do húmus de minhoca.

Para Trazzi *et al.* (2014), avaliando a produção de mudas de Teca (*Tectona grandis*), encontraram maior MSR no substrato utilizando 60% de lodo de esgoto e 40% de fibra de coco. Os autores atribuíram o bom desempenho do referido tratamento à boa interação entre as características químicas e físicas dos componentes do substrato, possibilitando adequada respiração das raízes e, conseqüentemente, maior crescimento radicular.

De acordo com Siqueira (2017), substratos que promovem a formação de um sistema radicular mais robusto favorecem o índice de sobrevivência das mudas no campo, pelo maior acesso das mudas à água e nutrientes, reduzindo os custos com replantio. Este autor mostra que as mudas de *Plathymenia reticulata*, produzidas no substrato comercial fertilizado e nos quais foi adicionado 20% ou 40% de lodo de esgoto, apresentaram maior comprimento e volume de raízes em relação aos demais substratos testados.

Observando-se o parâmetro de massa seca total (MST) das plantas estudadas, é possível constatar que T1 apresentou o melhor acúmulo de massa, seguido por T2, com diferença de 14,9% de peso.

Para Nogueira e Brancalion (2016), o diâmetro do colo (DC) é uma forma simplificada de definir a qualidade da muda, sendo proposto como valor de referência para *Cedrela fissillis*

Vell., um DC acima de 4 mm, sendo obtidos após um período de 3 a 5 meses dependendo da estação de crescimento (período frio ou quente, em regiões de clima estacional).

O maior valor médio de DC foi observado no tratamento 1, sendo que, para essa variável, os piores valores foram obtidos no tratamento T3, indicando que a presença de maior quantidade de carbono orgânico no substrato pode ser decisivo para o crescimento e manutenção das mudas durante seu tempo em viveiro.

Oliveira *et al.* (2008), encontraram, em *Cedrela fissilis* Vell., o pior resultado para diâmetro do caule, com o uso de substrato à base de casca de arroz carbonizada (50%) e esterco de galinha (40%), enquanto que, Roweder *et al.* (2012) encontraram maior valor de diâmetro do colo em *Cedrela odorata* L., com os substratos de composto vegetal e húmus de minhoca.

A relação altura com o diâmetro do colo apresentou resultados entre 5,05 a 4,21. Navroski *et al.* (2016) encontraram resultados variando em média entre 4,6 a 3,4, para estudo com cedro, após 150 dias do plantio. Este é um importante parâmetro de avaliação sobre as chances das mudas se estabelecerem no campo, sendo que, quanto menor essa relação, menores as probabilidades das plantas desenvolverem-se. Carneiro (1995) relata que a relação H/DC deve chegar a no máximo 8,1, em qualquer fase do período de produção de mudas.

De acordo com Gomes & Paiva (2012), quanto maior for o índice de qualidade de Dickson (IQD), melhor será o padrão de qualidade de mudas. Os maiores valores para esse índice foram verificados para T1.

Para a formulação de um substrato com materiais alternativos, como é o caso do composto orgânico, é necessário que os componentes sejam de fácil obtenção, tenham origem ambientalmente correta, estrutura estável e sejam de baixo custo. Além disso, devem propiciar ao substrato boas características físicas e químicas (Klein, 2015).

A qualidade das mudas neste experimento pode ser explicada pelo desequilíbrio da porosidade total, com o predomínio da microporosidade em relação à macroporosidade, conforme relatado por Caldeira *et al.* (2008), onde a matéria orgânica tem como finalidade importante de aumentar a retenção de água e nutrientes para as mudas. Faria *et al.* (2016) ressaltam que em substrato obtido por grandes proporções de composto orgânico, seja esterco bovino ou outros componentes, as mudas tendem a apresentar menor crescimento, possivelmente devido ao predomínio de microporosidade no substrato, diminuindo a aeração e prejudicando o desenvolvimento radicular das mudas.

Conforme esperado, os condicionadores de solo orgânicos, produzidos à base de diferentes resíduos orgânicos, são suficientes para uso em viveiro visando ao crescimento de

mudas de *Cedrela fissilis*, sem necessariamente usar fertilização mineral complementar, apresentando alternativa em relação ao substrato comercial.

Para Trautenmuller *et al.* (2016), a utilização de composto orgânico na concentração de 100% proporcionou maior incremento em altura e diâmetro, aos 150 dias após o transplante das mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire, sendo uma alternativa viável para produção de mudas desta espécie por diminuir custos com fertilização.

Além disso, de acordo com Scheer *et al.* (2010) afirmam que, apesar de mudas de *Parapiptadenia rígida* nos compostos à base de lodo de esgoto responderem bem à fertilização complementar, os nutrientes já existentes neles são suficientes para a formação de plantas com boa qualidade.

Em outra pesquisa, Paiva *et al.* (2009), testando lodo de esgoto como fertilizante, também verificaram que a maior dose testada levou a resultados similares aos do tratamento com fertilização mineral, com tendência de resultados ainda melhores com doses mais elevadas, ou seja, estes resultados corroboram o presente estudo, indicando um maior crescimento das mudas com a utilização de composto orgânico produzido a base de lodo de esgoto.

Os resultados positivos do substrato à base de lodo de ETE compostado, usado neste estudo também foram similares aos observados em outros trabalhos envolvendo a utilização de lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica e nutrientes, para a composição de substratos de mudas (Teles *et al.*, 1999; Trigueiro e Guerrini, 2003; Faustino *et al.*, 2005; Cunha *et al.*, 2006; Nóbrega *et al.*, 2007; Paiva *et al.*, 2009; Scherr *et al.*, 2010).

Outros estudos conduzidos por Scheer *et al.* (2012) constataam que o composto obtido à base de 50% de lodo de esgoto foi capaz de proporcionar os maiores valores de biomassa aérea para as mudas de *Lafoensia pacari* entre todos os testados, obtendo média superior ao substrato comercial testado.

Para *Eucalyptus grandis* o uso de lodo decomposto juntamente com a cinza de madeira promoveu ganhos na produção volumétrica da plantas, que variaram de 3% a 87% em relação à adubação química (Guerrini *et al.*, 2000).

Ao considerarmos as espécies florestais brasileiras, indica-se para produção de mudas um substrato que confere boa drenagem e fertilidade mediana, enquanto que substratos com menor drenagem e elevada capacidade de retenção de umidade, é o mais indicado para a produção de mudas de espécies que ocorrem em ambientes ripários, onde naturalmente a disponibilidade de água é mais elevada (Oliveira *et al.*, 2016).

Assim, apesar de os resultados deste presente trabalho evidenciarem que o substrato produzido a partir do uso de lodo de ETE compostado mostrarem-se capaz de promover o

crescimento inicial de mudas de cedro, podendo ser uma alternativa potencial para produção de mudas, os resultados aqui apresentados podem ser validados para o composto orgânico produzido pela empresa Ecomark, cujos produtos foram aqui testados, em que os teores de nutrientes apresentam variações nos diversos lotes de condicionador de solos, já que dependem da composição dos resíduos em cada lote e o tempo de compostagem.

No entanto, se os hábitos produtivos das empresas que geraram os resíduos forem relativamente constantes e se o tipo de tratamento do lodo não for alterado, pode-se obter resultados médios mais seguros dos teores presentes no substrato. De qualquer forma, a metodologia e os resultados obtidos devem ser considerados antes de estabelecer recomendações sobre a utilização de condicionador de solos para a produção de mudas de espécies florestais.

Estudos específicos para os compostos orgânicos oriundos de outras estações de tratamento e também quantificações mensais para estabelecimento de médias dos teores de elementos químicos presentes nos lotes de uma mesma estação de tratamento de ETE devem ser observadas a priori. Além disso, recomenda-se considerar os requerimentos nutricionais, os níveis de tolerância a estresses (e.g. metal pesado, salinidade) específicos de cada espécie vegetal e a composição dos demais substratos utilizados em combinação com o composto orgânico.

Conclusões

Os resultados obtidos nesta pesquisa indicaram que todos os tratamentos, com os compostos orgânicos utilizados, constituem-se uma importante alternativa viável para auxiliar no crescimento das mudas de *Cedrela fissilis* Vell, em viveiro.

Recomendam-se estudos particularizados quanto ao uso do condicionador de solos misturados a outros materiais, para desenvolvimento de um substrato adequado para produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell.

Ressalta-se que a utilização de lodo de ETE para a composição de substratos destinados à produção de mudas de cedro, deve ser realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, evitando-se, assim, possíveis contaminações biológicas e, até mesmo, presença metais pesados.

Referências

- Barbosa, L.M.; Shirasuna, R.T.; Lima, F.C.; Ortiz, P.R.; Barbosa, K.C., Barbosa, T.C.** Lista das espécies indicadas para restauração ecológica para diversas regiões do estado de São Paulo. Instituto de Botânica, 2017. 344p. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutodebotanica/wp-content/uploads/sites/235/2019/10/lista-especies-rad-2019.pdf>
- Barbosa, L.M.; Barbosa, T.C.; Parajara, F.C.; Barbosa, K.C.** Manual de orientação para implantação de viveiro de mudas. Instituto de Botânica de São Paulo – SMA-SP, 2 ed. 2014, 100p. Disponível em: <http://arquivo.ambiente.sp.gov.br/cbrn/2017/02/implantacao-viveiro-mudas.pdf>
- Barbosa, L.M.; Martins, S.L.** Diversificando o reflorestamento no Estado de São Paulo: espécies disponíveis por região. Secretaria do Estado do Meio Ambiente, SP, 2003. 63p.
- Barbosa, L.M., Barbosa, J.M., Barbosa, K.C., Potomati, A., Martins, S.E., asperti, L.M., Melo, A.C.G., Carrasco, P.G., Castanheira, S.A., Piliackas, J.M., Contieri, W.A., mattioli, D.S., guedes, D.C., Junior, N.S., Silva, P.M.S., Plaza, A.P.** Recuperação florestal com espécies nativas no Estado de São Saulo: pesquisas apontam mudanças necessárias. Florestar Estatístico Artigos Técnicos, São Paulo, 6 (14): 28-34. 2003
- Caldas, L.S.** Pomares de sementes de espécies nativas as funções das redes de sementes. In: Higa, A. R., Silva, L. D. Pomar de sementes de espécies florestais nativas. Curitiba: FUPEF do Paraná. p. 227-241. 2006.
- Caldeira, M.V.W.; Delarmelina, W.M.; faria, J.C.T.; Juvanol, R.S.** Substratos alternativos na produção de mudas de *Chamaecrista desvauxii*. Revista Árvore, v.37, n.1, p.31-39, 2013. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48825658004>
- Caldeira, M.V.W.; Peroni, L.; Gomes, D.; Delarmelina, W.M.; Trazzi, P.A.** Diferentes proporções de biossólido na composição de substratos para a produção de mudas de timbó (*Ateleia glazioviana* Baill). Scientia Forestalis, v. 40, n. 43, p. 15-22, 2012. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr93/cap02.pdf>
- Caldeira, M.V.W.; Rosa, G.N.; Fenilli, T.A.B.; Harbs, R.M.P.** Composto orgânico na produção de mudas de aroeira-vermelha. Scientia Agraria, Curitiba, v. 9, n. 1, p. 27-33, 2008. DOI: 10.5380/rsa.v9i1.9898
- Carneiro, J.G.A.** Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

- Cherobini, E.A.I.; Muniz, M.F.B.; Blume, E.** Avaliação da qualidade de sementes e mudas de cedro. *Ciência Florestal*, Santa Maria, RS, v. 18, n. 1, p. 65-73, 2008. DOI:10.5902/19805098511
- Cunha, A.M.; Cunha, G.M.; Sarmiento, R.A.; Amaral, J.F.T.** Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia sp.* *Revista árvore*, v.30, n.2, p.207-214, 2006. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v30n2/a07v30n2>
- Cusatis, A.C.; Trazzi, P.A.; Higa, A.R.** Dendroecologia de *Cedrela fissilis* na Floresta Ombrófila Mista. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 33, n. 75, p.287-297, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.75.474
- Danner, M.A.; Citadin, I.; Fernandes Junior, A.A.; Assmann, A.P.; Mazaro, SM.; Sasso, S.A.Z.** Formação de mudas de jabuticabeira (*Plinia sp.*) em diferentes substratos e tamanhos de recipientes. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 179-182, 2007. DOI: 10.1590/S0100-29452007000100038
- De La Reta, L.; Chrapek, R.; Pezzutti, R.; Schenone, R.; Caldato, S.; Rojas, A.** Sobrevivencia y Crecimiento Inicial de Cinco Espécies Nativas *Handroanthus heptaphyllus*; *Cedrela fissilis*; *Cordia trichotoma*; *Araucaria angustifolia*; *Myrocarpus frondosus*, en el ne de corrientes. XXIX Jornadas Forestales de Entre Rios, Concórdia, 2015.
- Delarmelina, W.M.; Caldeira, M.V.W.; Faria, J.C.T.; Gonçalves, E.O.** Uso de lodo de esgoto e resíduos orgânicos no crescimento de mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) *Revista Agro@mbiente*. V.7, n.2, p.184-192, 2013. DOI: 10.18227/1982-8470ragro.v7i2.888
- Durigan, G.; Figliolia, M.B.; Kawabata, M.; Garrido, M.A. de O.; Baitello, J.B.** Sementes e mudas de árvores tropicais. 2.ed. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2002. 65p.
- Farias, W.M. Andrade, F.A.; Albuquerque, M.B.; Cunha, J.R.** Utilização de macrófitas aquáticas em substrato para a produção de mudas de moringa. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 36, n. 85, p. 25-30, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.85.791
- Faustino, R.; Kato, M.T.; Florencio, L.; Gavazza, S.** Lodo de esgoto como substrato para produção de mudas de *Senna siamea* Lam. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*. V.9, p.278-282, 2005.
- Ferreira, M.G.R.; Rocha, R.B.; Gonçalves, E.P.; Alves, E.U.; Ribeiro, G.D.** Influência do substrato no crescimento de mudas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.).

- Acta Scientiarum Agronomy, Maringá, v. 31, n. 4, p. 677-681, 2009. DOI: 10.1590/S1807-86212009000400019
- Gomes, J.M.; Paiva, H.N.** Viveiros florestais: propagação sexuada. Viçosa: Editora UFV, 2012. 116 p.
- Gonçalves, E.O.; Paiva, H.N.; Neves, J.C.L.; Gomes, J.M.** Nutrição de mudas de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) submetidas a doses de N, P, K, Ca e Mg. Revista Árvore, v. 36, n. 2, p. 219-228, 2012. DOI: 10.1590/S0100-67622012000200003
- Gonçalves, J.L.M.; Stape, J.L.; Benedetti, V. Vessel, V.G.A.; Gava, J.L.** Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e na nutrição das árvores. In: Gonçalves J.L.; Benedetti, V. Nutrição e Fertilização Florestal (p. p.35). Piracicaba, São Paulo: IPEF, 2000.
- Guerrini, I.A.; Villas Boas, R.L.; Benedetti, V.; Comério, J.; Moro, L.** Applications os woos ash alnd pulp and paper sludge to Eucalyptus grandis in tree Brazilian soils. Principles na pratice of residual use. Seattle: University of Washington, 2000. P.127-131.
- Klein, C.** Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.4, n. 3, p. 43-63, 2015. DOI: 10.5380/rber.v4i3.40742
- Lima Filho, P.** Biossólido na restauração florestal: formação de mudas e adubação de plantio. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 101p, 2015. Disponível em: <https://tede.ufrrj.br/jspui/handle/jspui/1357>
- Lima, G.R.; Munk, N.** Political economy considerations of the forest and timber sectors and natural forest management certification in Brazil. The context of natural forest management and FSC certification in Brazil, v. 148, p. 9, 2015. DOI: 10.17528/cifor/005911
- Lorenzi, H.** Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 7.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2016. 368p.
- Maranho, A.S.; Paiva, A.V.** Produção de mudas de *Physocalymma scaberrimum* em substratos compostos por diferentes porcentagens de resíduo orgânico de açaí. Floresta, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 399-408, 2012. DOI: 10.5380/rf.v42i2.19220
- Mesquita, J.B.; Santos, M.J.C.; Ribeiro, G.T.; Moura, A.O.** Avaliação da composição de substratos e recipientes na produção de mudas de jenipapo (*Genipa americana* L.). Natural Resources, Aquidabã, v. 1, n. 1, p. 37-45, 2011. DOI: 10.6008/ESS2237-9290.2011.001.0004

- Minetti, J.M.** Aprovechamiento forestal de cedro en las Yungas de Argentina. *Ecología Y Producción de Cedro (genero Cedrela) En Las Yungas Australes*. LIEY-proyungas, Argentina, 143-154, 2006.
- Navroski, M.C.; Tonett, E.L.; Mazzo, M.V.; Frigotto, T.; Pereira, M.O.; Galvani, L.V.** Procedência e adubação no crescimento inicial de mudas de cedro. *Pesquisa florestal brasileira*. Colombo, v. 36, n. 85, p. 17-24, 2016. DOI: 10.4336/2016.pfb.36.85.966
- Nobrega, R.S.A.; Vilas Boas, R.C.; Nobrega, J.C.A.; De Paula, A.M.; Moreira, F.M.S.** Utilização de bio sólido no crescimento inicial de mudas de aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi). *Revista árvore*, Viçosa, MG, v.31, n.2, p.239-246, 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v31n2/a06v31n2>
- Nogueira, C.; Brancalion, P.H.S.** Sementes e mudas: guia de propagação de árvores brasileiras. São Paulo: Oficina de textos, 2016. 463 p.
- Oliveira, T.P.F.** Fisiologia da propagação e nutrição mineral associada ao cálcio e boro em plantas de *Toona ciliata* e *Cedrela fissilis*. Tese (doutorado) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. 2016. 176 p. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/producao-vegetal/wp-content/uploads/sites/10/2016/07/Tese-Taiane-Pires-de-Freitas-de-Oliveira-2016-2.pdf>
- Oliveira, M.C.; Ogata, R.S.; Andrade, G.A.; Santos, D.S.; Souza, R.M.; Guimarães, T.G.; Silva Junior, M.C.; Pereira, D.J.S.; Ribeiro, J.F.** Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado. Ed. Rede Sementes do Cerrado, 2016, 124 p. Disponível em: <http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/Capa%20e%20miolo%20Viveiros%20Embrapa24%20FEV.pdf>
- Oliveira, L.R.; Lima, S.F.; Lima, A.P.L.** Crescimento de mudas de cedro rosa em diferentes substratos. *Pesquisa florestal brasileira*, Colombo, v. 34, n. 79, p. 187-195, jul./set. 2014. DOI: 10.4336/2014.pfb.34.79.605
- Oliveira, R.B.; Lima, J.S.S.; Souza, C.A.M.; Silva, S.A.; Martins Filho, S.** Produção de mudas de essências florestais em diferentes substratos e acompanhamento do desenvolvimento em campo. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 32, n. 1, p. 122- 128, 2008. DOI: 10.1590/S1413-70542008000100018
- Paiva, A.V.; Poggiani, F.; Gonçalves, J.L.M.; Ferraz, A.V.** Crescimento de mudas de espécies arbóreas nativas, adubadas com diferentes doses de lodo de esgoto seco e com fertilização mineral. *Scientia florestalis*, v.37, n.84, p.499-511, 2009. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr84/cap18.pdf>

- Paulilo, M.T.S.; Duz, S.; Siminski, A.; Santos, M.** Responses to light changes in tropical seedlings of the Brazilian Atlantic rainforest tree species *Cecropia glazioui* (Cecropiaceae) and *Cedrela fissilis* (Meliaceae). *Australian Journal of Botany*, v.55, p.795–802, 2007. DOI: 10.1071/BT04089
- 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*, v.33, n.73, p.27-36, 2013. DOI: 10.4336/2013.pfb.33.73.331
- Roweder, C.; Nascimento, M. S.; Silva, J.B.** Uso de diferentes substratos e ambiência na germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de cedro. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia*, Guarapuava, v. 5, n. 1, p. 27-46, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5777/paet.v5i1.1603>
- Scalon, S.P.Q.; Teodósio, T.K.C.; Novelino, J.O.; Kissmann, C.; Mota, L.H.S.** Germinação e crescimento de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. em diferentes substratos. *Revista Árvore*, Viçosa, MG, v. 35, n. 3, p. 633-639, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/488/48819946007.pdf>
- Scheer, M.B.; Carneiro, C.; Bressan, O.A.; Santos, K.G.** Crescimento e nutrição de mudas de *Lafoensia pacari* com lodo de esgoto. *Floresta ambiente*, Seropédica, v. 19, n. 1, p. 55-65, 2012. DOI: 10.4322/floram.2012.007
- Scheer, M.B.; Carneiro, C.; Bressan, O.A.; Santos, K.G.** Composto de lodo de esgoto para produção de mudas de *Anadenanthera colubrina* (Vell.) Brenan. *Revista Cerne*, v.18, n.4, p.613-621, 2012. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/cerne/v18n4/v18n4a11>
- Souza, P. A.; Venturin, N.; Macedo, R.L.G.; Venturin, R.P.; Tucci, C.A.F.; Carlos, L.** Nutritional assessment of cedar seedlings (*Cedrela fissilis* Vell.) grown in a greenhouse. *Revista Cerne*, Lavras, v. 15, n. 2, p. 236-243, 2009. Disponível em: <http://cerne.ufla.br/site/index.php/cerne/article/view/208>
- Teles, C.R.; Da Costa, A.N.; Gonçalves, R.F.** Produção de lodo em lagoas de estabilização e seu uso no cultivo de espécies florestais na região sudoeste do Brasil. *Revista técnica Sanepar*, v.12, n.12, 1999.
- Trautenmuller, J.W.; Borella, J.; Lambrecht, F.R.; Valerius, J.; Costa Junior, S.; Leschewitz, R.** Influência de composto orgânico no desenvolvimento de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire. *Advances in Forestry Science*, v.3, n.4, p. 55-58. 2016. DOI: 10.34062/afs.v3i4.3721

- Trazzi, P.A.; Caldeira, M.V.W.; Reis, E.F.; Silva, A.G.** Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com bioossólido. *Revista Cerne*, v.20, n.2, p.293-302, 2014. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/744/74431543016.pdf>
- Trigueiro, R.M.; Guerrini, I.A.** Use of biosoils as substrate for *Eucalyptus* seeding production. *Scientia florestalis*, n.64, p.150-162, 2003. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/67553>.
- Xavier, A.; Santos, G.A.; Oliveira, M.L.** Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). *Revista Árvore*, v.27, n.3, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v27n3/a11v27n3>

6. Conclusão

O estudo com resíduos de diferentes origens permitiu concluir que a compostagem demonstrou ser uma alternativa viável e ambientalmente correta para a destinação e tratamento dos resíduos de lodo de ETE de indústria de alimentos, terra diatomácea, cinzas de biomassa, sobras de alimentos e podas trituradas, conforme comprovado pelos resultados obtidos nesta pesquisa.

Todos os compostos orgânicos obtidos a partir da mistura de diferentes proporções dos resíduos estudados, podem ser classificados como condicionador de solos, incluindo o tratamento 10, que atendeu os limites de tolerância determinados pela legislação brasileira em vigência.

Ressalta-se que a utilização de lodo de ETE para a composição de substratos destinados à produção de mudas de cedro, ou mesmo para utilização como condicionador de solos visando à restauração ecológica de áreas degradadas deve ser realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos pela legislação vigente, evitando-se, assim, possíveis contaminações biológicas e, até mesmo, presença metais pesados.

A utilização dos produtos selecionados para o segundo capítulo desta pesquisa, demonstrou-se eficiente para o crescimento de mudas de *Cedrela fissilis* Vell., sendo recomendado a realização de estudos particularizados quanto ao uso do composto orgânico misturados a outros materiais, como por exemplo, fertilizantes minerais, para desenvolvimento de um substrato adequado para produção de mudas de *Cedrela fissilis* Vell.

Para a empresa Ecomark, que tornou possível este estudo, os resultados encontrados proporcionaram a possibilidade de um planejamento estratégico para definir a melhor seleção dos resíduos recebidos, sendo que novos estudos envolvendo a compostagem com diferentes composições destes resíduos, incluindo os mecanismos que levam ao declínio ou acréscimos dos elementos analisados, permitirão definir as melhores misturas visando a facilitar a produção de compostos capazes de atingir a classificação de substratos para plantas, em conformidade com a legislação cabível.