

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON**

FERNANDA DE FÁTIMA DHEIN

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS E
MEXILHÃO DOURADO COMO SUBSTRATOS ALTERNATIVOS NA PRODUÇÃO
DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

FERNANDA DE FÁTIMA DHEIN

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS URBANOS E
MEXILHÃO DOURADO COMO SUBSTRATOS ALTERNATIVOS NA PRODUÇÃO
DE MUDAS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden**

**Dissertação apresentada à Universidade Estadual
do Oeste do Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para
obtenção do título de Magister Scientiae.**

Orientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Coorientadora: Dra. Daniele Guarienti Rorato

MARECHAL CÂNDIDO RONDON - PARANÁ

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Dhein, Fernanda de Fátima

Avaliação agronômica de resíduos orgânicos urbanos e mexilhão dourado como substratos alternativos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden / Fernanda de Fátima Dhein; orientador Paulo Sérgio Rabello de Oliveira ; coorientadora Daniele Guarienti Rorato. -- Marechal Cândido Rondon, 2021. 93 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Marechal Cândido Rondon) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2021.

1. *Eucalyptus dunnii* Maiden. 2. Composto Orgânico. 3. *Limnoperna fortunei*. I. Rabello de Oliveira , Paulo Sérgio , orient. II. Guarienti Rorato, Daniele , coorient. III. Título.



unioeste

Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Campus de Marechal Cândido Rondon - CNPJ 78680337/0003-46
Rua Pernambuco, 1777 - Centro - Cx. P. 91 - <http://www.unioeste.br>
Fone: (45) 3284-7878 - Fax: (45) 3284-7879 - CEP 85960-000
Marechal Cândido Rondon - PR.



PARANÁ

GOVERNO DO ESTADO

FERNANDA DE FÁTIMA DHEIN

"Avaliação agronômica de resíduos orgânicos urbanos e mexilhão dourado como substratos alternativos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden"

Dissertação apresentada à distância, de forma síncrona e por videoconferência, conforme Resolução nº 052/2020 – CEPE, ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, linha de pesquisa Sistemas de Produção Vegetal Sustentáveis, APROVADA pela seguinte banca examinadora:

Orientador - Paulo Sérgio Rabello de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Márcia de Moraes Echer

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Marechal Cândido Rondon (UNIOESTE)

Danielle Acco Cadorin de Fraga

Faculdade Uniguaçu

Neumárcio Vilanova da Costa
Coordenador Especial do Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Marechal Cândido Rondon, 17 de dezembro de 2021

À Deus, pelo dom da vida e aos meus pais, Sueli e Edivino, pelo carinho e incentivo durante essa caminhada, apoiando e inspirando os meus objetivos e sonhos.

AGRADECIMENTOS

À DEUS, e à intercessão de Nossa Senhora Aparecida, por permitir esse momento especial.

À Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, campus Marechal Cândido Rondon, ao corpo docente que contribuiu para a minha formação ao longo do período do mestrado.

Ao Instituto Federal do Paraná (IFPR), por ter disponibilizado o local para condução de parte do experimento, à SANEPAR, CEASA e Prefeitura de Foz do Iguaçu, por disponibilizarem os resíduos e informações para realização do trabalho.

À orientação, dedicação e compreensão do professor Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira, sempre disponível a ajudar, nos momentos mais difíceis que passei durante o mestrado, tenho profundo respeito, gratidão e grande admiração.

À Prof. Dra. Daniele Guarienti Rorato, pela coorientação, com cuidado nos detalhes do trabalho, amiga, prestativa com muita paciência e dedicação.

Aos meus colegas do grupo de pesquisa GEPSIA, sempre dispostos a ajudar, pelas risadas e alegrias do dia a dia.

Em especial a Prof. MSc Fernanda Rubio, que foi, é, e sempre será muito importante no meu crescimento profissional e pessoal, pelas oportunidades que me proporciona, e pelas suas orientações, sempre com o coração aberto, cheio de carinho e atenção em todos os momentos que precisei.

Aos meus pais, que não medem esforços para me ajudar, incentivar e acreditam verdadeiramente no meu potencial. Em especial ao meu pai, Edivino Dhein, meu melhor amigo, que está passando por um grande desafio na sua vida, na luta contra o câncer. Obrigado pai, sua vida é exemplo de força, superação e alegria, meu maior aprendizado!

Aos meus tios, Rivaél e Lucélia, meus pais do coração, que no seu modo de viver, me inspiram a cada dia ser uma pessoa melhor, acreditam e aconselham-me com muito carinho.

Aos amigos e familiares, no auxílio da condução do experimento, que demonstraram muita dedicação, carinho e esforço.

Por fim, a todas as pessoas que de alguma forma fizeram parte dessa etapa da minha vida.

Muito obrigada!

“Devemos ser gratos a Deus pelos pequenos detalhes. Nos detalhes descobrimos o valor de uma realidade. Olhar as miudezas da vida faz a diferença.”

(Padre Fábio de Melo)

RESUMO

DHEIN, Fernanda de Fátima, Mestre em Agronomia, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Dezembro – 2021. **Avaliação agrônômica de resíduos orgânicos urbanos e mexilhão dourado como substratos alternativos na produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden.** Orientador: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Coorientador: Dr^a Daniele Guarienti Rorato.

Dos vários componentes necessários para obtenção de mudas de alta qualidade, destacasse o substrato. Na composição destes, podem ser utilizados resíduos orgânicos disponíveis na região. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros físicos e químicos de compostos provenientes dos processos de compostagem e vermicompostagem, produzidos a partir de resíduos orgânicos urbanos e mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), assim como, avaliar o crescimento de mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em viveiro e a campo, nos substratos e adubos alternativos formulados a partir dos compostos orgânicos produzidos por ambas as técnicas. Para a formulação dos substratos, inicialmente, foi realizada a compostagem e vermicompostagem a partir de resíduos urbanos: restos de poda de árvore+ resíduos vegetais (restos de frutas, verduras e legumes) +biossólido e mexilhão dourado. Foram selecionados os compostos e vermicompostos, conforme a menor taxa de metais pesados tóxicos, encontradas nos compostos finais avaliados. A partir dos compostos produzidos, foram formulados os substratos, em diferentes concentrações de composto orgânico (C) e substrato comercial (SC) e como fonte de adubação de base: adubação nitrogenada de base orgânica (vermicomposto (V)) e adubo comercial (AC): T1: 100% C + V; T2: 75% C + 25% SC + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + AC; T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Foi realizada a caracterização física e química dos substratos e iniciou-se a semeadura do *E. dunnii* em tubetes de 50 cm³. Para a avaliação das mudas em viveiro, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo: 30, 60 e 90 dias após a emergência. Foi avaliada a qualidade das mudas pelos principais parâmetros morfológicos: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (D), relação H/D, comprimento de raiz, massa seca de raiz, parte aérea e total, área foliar e número de folhas, índice de qualidade de Dickson, facilidade de retirada do tubete e agregação das raízes ao substrato. Já em campo, o delineamento utilizado foi em DBC, em esquema de parcelas subdivididas no tempo: (no plantio, 15; 30; 45; 60; 75 e 90 dias após plantio- DAP), com 2 repetições. Os resultados demonstraram que os compostos produzidos respeitaram os limites estabelecidos pela IN n° 25/2009 do MAPA, e pela Resolução CONAMA n° 375/2006. A presença do mexilhão dourado, não apresentou toxicidade aos compostos orgânicos estudados. As mudas, no viveiro, apresentaram valores de H e D que aumentaram ao longo dos tempos de avaliação, e o melhor desempenho em campo, com maior incremento em H e D, aos 90 DAP, foram as mudas produzidas nos substratos com 75% de composto orgânico+25% de substrato comercial+adubo comercial. A utilização da compostagem e vermicompostagem, foram alternativas viáveis, sustentáveis e de baixo custo, para destinação adequada dos resíduos orgânicos de Foz do Iguaçu, na produção de mudas de *E. dunnii*.

Palavras-chave: Composto Orgânico. Eucalipto. *Limnoperna fortunei*.

ABSTRACT

DHEIN, Fernanda de Fátima, Master in Agronomy, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, December - 2021. Agronomic evaluation of urban organic waste and golden mussel as alternative substrates in the production of *Eucalyptus dunnii* Maiden seedlings. Advisor: Dr. Paulo Sérgio Rabello de Oliveira. Co-Advisor: Dr^a Daniele Guarienti Rorato.

Of the various components necessary to obtain high quality seedlings, the substrate stands out. In the composition of these, organic residues available in the region can be used. In this context, the objective of this work was to evaluate the physical and chemical parameters of compounds from the composting and vermicomposting processes, produced from urban organic waste and golden mussel (*Limnoperna fortunei*), as well as to evaluate the growth of *Eucalyptus* seedlings *dunnii* Maiden, in nursery and field, in substrates and alternative fertilizers formulated from organic compounds produced by both techniques. For the formulation of the substrates, initially, composting and vermicomposting were carried out from urban waste: tree pruning residues + vegetable residues (fruit and vegetable residues) + biosolid and golden mussel. Compounds and vermicomposts were selected according to the lowest rate of toxic heavy metals found in the final compounds evaluated. From the compounds produced, the substrates were formulated, in different concentrations of organic compost (C) and commercial substrate (SC) and as a source of basic fertilization: organic nitrogen fertilization (vermicompost (V)) and commercial fertilizer (AC): T1: 100% C+ V; T2: 75% C + 25% SC + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + AC; T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. The physical and chemical characterization of the substrates was carried out and the sowing of *E. dunnii* began in 50 cm³ tubes. For the evaluation of seedlings in the nursery, the completely randomized design (DIC) was used, in a split-plot scheme in time: 30, 60 and 90 days after emergence. The quality of the seedlings was evaluated by the main morphological parameters: shoot height (H), collar diameter (D), H/D ratio, root length, root dry mass, shoot and total, leaf area and number of leaves, Dickson's quality index, ease of removal from the tube and aggregation of the roots to the substrate. In the field, the design used was in DBC, in a split-plot scheme in time: (at planting, 15; 30; 45; 60; 75 and 90 days after planting - DAP), with 2 replications. The results showed that the compounds produced respected the limits established by IN No. 25/2009 of MAPA, and by CONAMA Resolution No. 375/2006. The presence of the golden mussel did not present toxicity to the organic compounds studied. The seedlings, in the nursery, presented values of H and D that increased over the evaluation times, and the best performance in the field, with the greatest increase in H and D, at 90 DAP, were the seedlings produced in substrates with 75% of organic compost+25% commercial substrate+commercial fertilizer. The use of composting and vermicomposting were viable, sustainable and low-cost alternatives for the proper disposal of organic waste from Foz do Iguaçu, in the production of *E. dunnii* seedlings.

Keywords: Organic Compost. *Eucalyptus*. *Limnoperna fortunei*.

LISTA DE FIGURAS

REVISÃO GERAL

Figura 1- Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil.	5
Figura 2- Padrão de qualidade das mudas de eucalipto.....	8

CAPÍTULO 1

Figura 1- Coleta dos resíduos utilizados para iniciar o processo de compostagem.....	20
Figura 2- Disposição das pilhas no 1º dia da montagem no quiosque do IFPR- Foz do Iguaçu.....	21
Figura 3- Alternância de camadas na montagem das pilhas de compostagem.....	22
Figura 4- Controle da temperatura durante o processo de compostagem.....	22
Figura 5- Controle de umidade das pilhas com auxílio de um regador.	23
Figura 6- Revolvimento manual das pilhas de compostagem com auxílio de pá.....	24
Figura 7- (a) Temperaturas mínima, média e máxima, (b) precipitação média e umidade relativa (UR) mínima e máxima diárias no período de abril a julho de 2019 no município de Foz do Iguaçu.	24
Figura 8- Etapas do preparo da solução de microrganismos eficazes.....	25
Figura 9- Etapas do teste de fitotoxicidade com as sementes de alface (<i>Lactuca sativa</i>).....	28
Figura 10- Vermireatores alternativos produzidos utilizados no experimento.....	29
Figura 11- Montagem do processo de vermicompostagem.....	30
Figura 12- Distribuição dos vermireatores em DBC.	30
Figura 13- Progressão da temperatura das pilhas durante o processo de compostagem.	35
Figura 14- Aspecto dos compostos ao final do processo de compostagem.....	39
Figura 15- Valores de pH em água (a) e condutividade elétrica (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.....	41
Figura 16- Sólidos totais (a) e umidade (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.....	43
Figura 17- Sólidos fixos (a) e sólidos voláteis (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.....	45

CAPÍTULO 2

Figura 1- Temperaturas e umidade relativa mínima e máxima diárias, obtidas do termo higrômetro instalado no viveiro.....	59
Figura 2- Precipitação média e temperaturas mínima, média e máxima no período de maio a agosto de 2020 do município de Cascavel/PR.....	60
Figura 3- Mistura dos substratos e adubos para a constituição dos tratamentos.	62
Figura 4- Ilustração da distribuição dos tratamentos nas bandejas, no início do experimento.....	65
Figura 5- Ilustração da distribuição dos tratamentos nas bandejas, após 47 DAE.	66
Figura 6- Casa de sombra construída para a fase de crescimento das mudas.....	68
Figura 7- Análises destrutivas realizadas em laboratório, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas de <i>E. dunnii</i> , em viveiro.....	69
Figura 8- Espaçamento utilizado no plantio das mudas em campo de cada parcela.	72
Figura 9- Plantio das mudas de eucalipto no campo, em maio de 2020, localizado no Rio do Salto, município de Cascavel/PR.....	72
Figura 10 – Croqui e distribuição dos tratamentos em campo em DBC.	73

Figura 11- Crescimento em altura (H) de mudas de <i>E. dunnii</i> produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.	82
Figura 12- Diâmetro do coleto (D) de mudas de <i>E. dunnii</i> produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.....	83
Figura 13- Relação altura e diâmetro do coleto (H/D) de mudas de <i>E. dunnii</i> produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.....	84

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1– Identificação dos tratamentos das diferentes pilhas de compostagem.....	21
Tabela 2- Identificação dos tratamentos da vermicompostagem.....	31
Tabela 3- Caracterização dos materiais utilizados no processo de compostagem	33
Tabela 4- Determinação de cálcio e metais pesados tóxicos nos resíduos potencialmente poluidores	34
Tabela 5- Caracterização dos compostos orgânicos ao longo do processo de compostagem em análises quinzenais	36
Tabela 6- Determinação da relação C/N, cálcio, metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes dos compostos orgânicos finais aos 90 dias do processo de compostagem ...	37
Tabela 7- Peso final e porcentagem de redução em relação ao peso inicial das pilhas de compostagem.....	39
Tabela 8- Determinação das variáveis % de germinação, índice de germinação e tamanho da radícula das plântulas de alface submetidas ao teste de fitotoxicidade	40
Tabela 9- Número médio de minhocas cliteladas, não-cliteladas e ovos nos vermicompostos finais aos 60 dias do processo de vermicompostagem	46
Tabela 10- Determinação da relação C/N, cálcio, metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes dos vermicompostos finais aos 60 dias do processo de vermicompostagem....	47

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Constituição dos tratamentos para semeadura do eucalipto.....	61
Tabela 2- Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, antes da implantação das mudas de eucalipto.....	71
Tabela 3- Caracterização química dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial.....	74
Tabela 4- Caracterização física dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial.....	75
Tabela 5- Concentração de macronutrientes e micronutrientes dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial	77
Tabela 6- Crescimento médio em altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D de mudas de <i>E. dunnii</i> , produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro, ao longo dos tempos de avaliação	78
Tabela 7- Crescimento médio em altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de <i>E. dunnii</i> , produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas	79
Tabela 8- Facilidade de retirada do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AGR), área foliar (AF) e número de folhas (NF) de mudas de <i>E. dunnii</i> produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas	81
Tabela 9 – Número de mudas mortas, mudas mortas (%) e taxa de sobrevivência (%) de mudas de <i>E. dunnii</i> produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, aos 90 dias após o plantio (DAP) das mudas, em campo	86

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	1
2	REVISÃO GERAL.....	2
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	10
3	CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS FORMADOS POR MEIO DOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM.....	16
	RESUMO.....	16
	ABSTRACT	17
3.1	INTRODUÇÃO.....	18
3.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.2.1	Caracterização da Área de Estudo	19
3.2.2	Processo de Compostagem.....	19
3.2.3	Processo de Vermicompostagem.....	29
3.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.3.1	Processo de Compostagem.....	32
3.3.2	Processo de Vermicompostagem.....	41
3.4	CONCLUSÕES.....	48
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
4	CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS SEMINAIS DE <i>Eucalyptus dunnii</i> Maiden NO VIVEIRO E CAMPO EM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM	55
	RESUMO.....	55
	ABSTRACT	56
4.1	INTRODUÇÃO.....	57
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	58
4.2.1	Caracterização das Áreas de Estudo	58
4.2.2	Substratos.....	60
4.2.3	Fase de Viveiro.....	65
4.2.4	Condução em Campo	71
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	73

4.3.1	Substratos.....	73
4.3.2	Fase de Viveiro.....	77
4.3.3	Condução em Campo	82
4.4	CONCLUSÕES.....	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		87
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93

1 INTRODUÇÃO GERAL

A área de florestas plantadas no Brasil, apresenta-se em expansão, que em 2019, totalizou 9,0 milhões de hectares, um aumento de 2,4% em relação a 2018. Do total, 77% é cultivo de eucalipto, com 6,97 milhões de hectares, dos quais, a Região Sul, com 0,94 milhões de hectares, representa 10% da produção total (IBÁ, 2020).

E a utilização de florestas de *Eucalyptus sp.* tem se tornado cada vez mais expressiva no País, principalmente pela produção em grande escala e pelas boas características da madeira obtida e suas potencialidades, para suprir a crescente demanda de biomassa (RIBEIRO et al., 2017; CALDEIRA et al., 2016). Dentre as diversas espécies plantadas, o *Eucalyptus dunnii* Maiden, apresenta maior capacidade de resistência à geada, utilizado em locais de grande altitude e latitude (SCHRODER et al., 2016).

Assim, a produção de mudas florestais com qualidade representa uma das fases mais importantes na sua capacidade de estabelecimento em campo, dependente de diversos fatores, tais quais, as condições proporcionadas pelos substratos (ARAÚJO et al., 2013; CALDEIRA et al., 2012).

Nesse sentido, os resíduos orgânicos são fontes alternativas sustentáveis excelentes de nutrição para as plantas, que podem ser destinados à produção de substratos orgânicos por meio de técnicas de estabilização de materiais orgânicos (DORES-SILVA et al., 2013).

Destacam-se a compostagem e a vermicompostagem, das quais, mais apresentam resultados quanto ao tratamento dos resíduos e transformação em compostos orgânicos de qualidade, de maneira eficiente (ANTUNES et al., 2016; SARTORI et al., 2012). Além disso, a inoculação de microrganismos eficazes (E.M's) nos processos, podem minimizar o tempo de degradação do material orgânico e consequentemente otimizar espaço para o processo produtivo (VICENTINI et al., 2009).

Diante do exposto, acredita-se que a toxicidade dos resíduos orgânicos não se mantém após a decomposição destes, e o uso da solução de microrganismos eficazes (E.M's) podem acelerar os processos de compostagem e vermicompostagem. Além disso, os substratos formulados com composto orgânico, apresentaram características favoráveis para o crescimento inicial das mudas em viveiro e seu estabelecimento em campo.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os parâmetros físicos e químicos de compostos provenientes dos processos de compostagem e vermicompostagem, produzidos com resíduos orgânicos urbanos e mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), assim como, avaliar o crescimento de mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* Maiden, em viveiro e campo,

nos substratos e adubos alternativos formulados a partir dos compostos orgânicos produzidos por ambas as técnicas. Os resultados foram apresentados em dois capítulos:

Capítulo 1 - Caracterização física e química de compostos orgânicos formados por meio dos processos de compostagem e vermicompostagem.

Capítulo 2– Avaliação do crescimento inicial de mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* Maiden no viveiro e campo em diferentes formulações de substratos orgânicos provenientes do processo de compostagem e vermicompostagem.

2 REVISÃO GERAL

Segundo Fermino e Kämpf (2012), substrato, é um meio de crescimento para plantas, formado por poros e partículas sólidas, que podem ser de origem mineral, orgânica ou sintética, e apresentarem grande variação em aspectos físicos, quanto à forma, tamanho, aparência e massa específica, que interfere na qualidade do material e no desenvolvimento vegetal, principalmente na formação de um bom enraizamento em plantas novas (KRATZ et al., 2013).

No Brasil, os métodos oficiais para determinação de parâmetros físicos e químicos, no controle de qualidade dos substratos, está na Instrução Normativa (IN) nº 17, de 21 de maio de 2007, no qual apresenta métodos de análise quanto a preparação inicial do material e a determinação da umidade, densidade e capacidade de retenção de água (CRA) (BRASIL, 2007).

A IN nº 17 foi alterada pela IN nº 31, de 23 de outubro de 2008, que apresenta modificações nos métodos de avaliação de densidade e CRA. As normativas, não consideram análise dos parâmetros granulometria, densidade de partícula e porosidade (BRASIL, 2008). Já na IN nº 14, de 15 de dezembro de 2004, apresenta as definições e normas para o produto gerado, especificações, garantias e tolerâncias, no que se refere, o registro, embalagem e rotulagem (BRASIL, 2004). Portanto, para estabelecer a qualidade de um material, é necessário determinar alguns parâmetros específicos (FERMINO; KÄMPF, 2012).

Em relação aos valores estabelecidos para os parâmetros, ditos como ideais, não é apresentado consenso, não há uma verdade absoluta. Dessa forma, deve-se levar em consideração cada substrato, recipiente, espécie cultivada, segundo seu sistema de produção, para obter os melhores resultados possíveis (FERMINO, 2014).

Segundo Schafer et al. (2015), os parâmetros físicos e químicos são fundamentais para determinar a qualidade de um substrato. Em sua constituição, é possível adequar, com a mistura de resíduos orgânicos, que influencia diretamente no crescimento e qualidade de mudas (CUNHA-QUEDA et al., 2010; GONÇALVES et al., 2014).

A caracterização física é importante para o conhecimento e a padronização dos produtos comercializados, fiscalização e controle de qualidade (ZORZETO et al., 2014). Os atributos mais importantes que devem ser observados são: porosidade, espaço de aeração, disponibilidade de água e densidade de partícula.

A porosidade, proporciona transferência de ar e de água no material, consequentemente no escoamento hídrico (ZORZETO et al., 2014). Em substratos com baixa aeração, ou seja, com menor porosidade pode ocasionar impactos negativos para o desempenho vegetal (SUGUINO et al., 2011). Silva et al. (2011) citam que substratos com maior quantidade de porosidade total, acarretam benefícios para o sistema radicular.

Já o espaço de aeração está diretamente relacionado à porosidade total e a capacidade de umidade dos substratos. Quanto maior presença de microporos, ou seja, poros mais estreitos, a aeração no substrato diminui (ABREU et al., 2017). Um dos motivos para alteração do espaço de aeração é a granulometria, visto que, o tamanho das partículas pode colaborar ou dificultar a movimentação hídrica e de gases (LOPES et al., 2011). De acordo com Delarmelina et al. (2014), quanto melhor o espaço para aeração em um meio, as raízes irão apresentar melhor desempenho vegetal.

A umidade presente nos substratos está diretamente ligada à porosidade, granulometria e aeração, pois interferem na capacidade da água fluir no meio. A retenção da umidade nos substratos ocorre da seguinte forma: quanto maior as partículas, menor a capacidade de retenção de água (CRA) (BARRETO; TESTEZLAF; SALVADOR, 2012). Essa capacidade facilita em algumas culturas para que as plantas tenham melhor absorção dos nutrientes, resolvendo problemas de estresse hídrico (COSTA et al., 2013). Segundo Wendling, Guastala e Dedeczek (2007), substratos com menor CRA, requerem maiores aplicações de água nas irrigações, ou ainda, que aumente a frequência.

É necessário determinar a capacidade de liberação de água que está retida no substrato, pois esta, não está totalmente disponível a planta (KÄMPF, 2005). Na faixa de tensão entre 10 e 100 hPa representa a água disponível (AD) às plantas. Nesta faixa, tem diferentes forças de retenção de água: o volume de água liberado entre 10 hPa e 50 hPa de tensão é a água facilmente disponível (AFD), entre 50 hPa e 100 hPa de tensão é a água tamponante (AT) (DE BOODT; VERDONCK, 1972).

Outro aspecto presente nas partes físicas dos substratos é a densidade. Araújo et al. (2017), cita que a granulometria pode ter impacto na capacidade de agregação das partículas. Substratos que apresentam densidade muito alta, provocam limitações no cultivo em recipientes e ao crescimento das plantas (KÄMPF, 2005).

De acordo com a umidade do substrato, a densidade pode ser caracterizada como úmida ou seca (aparente), que se refere ao material com nível de umidade no momento do uso e o material seco em estufa a 60 °C para substratos orgânicos, respectivamente (BURÉS, 1997).

Já a determinação das características químicas, base indicativa de controle de qualidade dos substratos (FERMINO; KÄMPF, 2012), deve-se observar principalmente quanto ao pH, condutividade elétrica e capacidade de troca de cátions (CTC). A variação do potencial hidrogeniônico (pH), podem ser relacionados a disponibilidade de nutrientes, como alumínio, potássio e cálcio (SANTOS et al., 2014), assim como nas propriedades fisiológicas das plantas (KÄMPF, 2005).

Já a condutividade elétrica (CE) está relacionada com a salinidade, ou seja, com a quantidade de sais, que podem aumentar ou diminuir, uma das prováveis maneiras para o aumento da concentração é o processo de decomposição (ABREU et al., 2012; FERMINO, 2014). Por mais, outra característica é a capacidade de troca catiônica (CTC), a qual é utilizada para indicar a preservação do nutriente ao meio onde se encontra (DE FREITAS et al., 2017). De acordo com Krob et al. (2011), a CTC está relacionada diretamente com a matéria orgânica presente, contribuindo para seu aumento.

A Lei N° 12305/10 institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos no Brasil e, portanto, define quais são os princípios a serem seguidos para destinação final dos resíduos no país, bem como apresenta conceitos inovadores de utilização destes, inclusive o rejeito, como matéria-prima no sistema produtivo (BRASIL, 2010).

Em decorrência da falta de informações e desconhecimento sobre o potencial econômico, ambiental e social desses resíduos, boa parte deles acaba recebendo esse descarte inadequado, podendo afetar o meio ambiente e a saúde pública (ZAGO; BARROS, 2019; MASSUKADO et al., 2012).

Apesar da problemática envolvida no descarte e produção em alta quantidade dos resíduos orgânicos, estes podem ser de extremo interesse para produção de compostos orgânicos. Isso porque esses materiais são ricos em nutrientes, ao passo que podem ser utilizados para produção de mudas para reflorestamento, paisagismo e produção agrícola, ao mesmo tempo que permite o gerenciamento adequado dos resíduos orgânicos (ARAÚJO et al., 2017; COSTA; HOMEM-JUNIOR, 2015; MARCHEZETTI; KAVISKI; BRAGA, 2011).

A Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), apresentou o parâmetro de geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) do ano de 2020 (Figura 1).

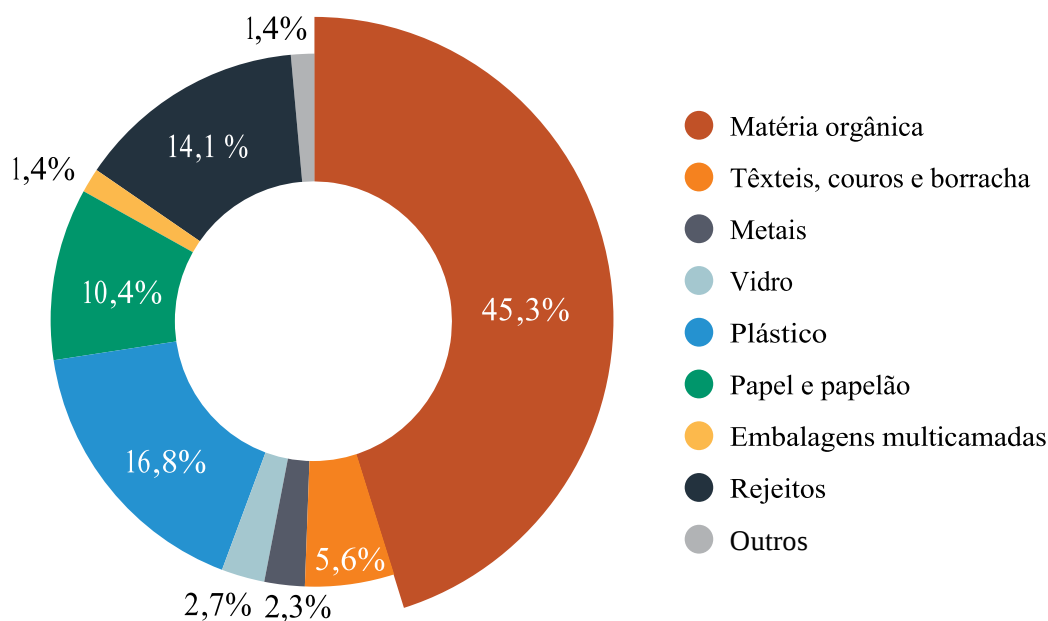


Figura 1- Gravimetria dos resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil.
Fonte: ABRELPE (2020).

É possível observar que a fração orgânica é o principal componente dos RSU, com 45,3% que abrange sobras e perdas de alimentos, resíduos verdes e madeiras. Os rejeitos, correspondem a 14,1% do total e abrangem, principalmente, os materiais sanitários (resíduos sanitários, materiais que não foram passíveis de identificação e recicláveis contaminados que não permitiram a separação) (ABRELPE, 2020).

Pode-se destacar as podas de árvores e o lodo de esgoto, dentre os resíduos sólidos orgânicos mais produzidos nas cidades brasileiras, estes são de difícil destinação pelo volume ocupado e risco de combustão, além de impactos ambientais quanto a contaminação de solos e água, respectivamente. Assim, os aterros sanitários acabam se tornando o destino mais frequente, embora possa ocorrer a incineração, causando sérios danos ao meio ambiente (MORETTI et al., 2015).

Apesar dos riscos que o lodo de esgoto apresenta ao meio ambiente e seres humanos, após tratamento adequado passa a ser denominado de bio sólido, um resíduo rico em nutrientes essenciais as plantas, apresentando concentrações significativas de cálcio devido ao uso de cal no tratamento (NOGUEIRA et al., 2006).

Segundo Cabreira et al. (2017) e Abreu et al. (2017), o bio sólido pode ser utilizado como componentes de substratos para produção de mudas florestais, já que essa é uma destinação ambientalmente correta para o produto, que pode ser considerado uma aplicação efetiva deste material para contribuir não somente na redução dos altos custos de produção, mas

também como uma solução para possíveis problemas ambientais (TRAZZI et al., 2014; MAHADAL et al., 2016).

Já os resíduos vegetais, caracterizados pelos restos de frutas, verduras e legumes, produzidos em grande quantidade nas Centrais de Abastecimento de Alimentos (CEASAS), se destinados inadequadamente, podem ser prejudiciais à saúde e meio ambiente, uma vez que haverá liberação de gases poluentes, além de produção de odores e atração de vetores (CASAGRANDE et al., 2017; SGORLON et al., 2011), haja visto que, o aumento das populações nas cidades é responsável por boa parte da produção desses resíduos (CARDOZO et al., 2020).

Desta forma, esses resíduos podem ser reutilizados como fonte alternativa nas atividades agrícolas, a fim de evitar a destinação em aterros sanitários (TYAGI et al., 2018). Além dos resíduos sólidos urbanos, o mexilhão dourado nos últimos anos se tornou um grande problema, causando sérios impactos aos ecossistemas e ao meio ambiente ao qual estão presentes (KOWALSKI; KOWALSKI, 2008).

O *Limnoperna fortunei*, vulgarmente conhecido como mexilhão dourado, é um molusco bivalve de caráter invasor, originário que foi introduzido no Brasil através de águas de lastro de navios vindos do sudeste asiático (MARANHÃO; STORI, 2019), apresenta alta taxa de reprodução, densidade populacional, alta capacidade de adaptação (DARRIGRAN, 2010), e é um organismo filtrador de água doce, assim, possui a capacidade de acumular os contaminantes presentes nas águas, tais quais os metais pesados tóxicos, como Cádmio (Cd), Chumbo (Pb) e Cromo (Cr) (WACHHOLZ et al., 2017; FERREIRA et al., 2013).

Entretanto, o molusco pode tornar-se de interesse para fins de cultivo, já que apresenta também altas concentrações de cálcio, encontrada principalmente na estrutura da concha, a qual é formada basicamente por carbonato de cálcio, fósforo e nitrogênio e desta forma, pode auxiliar na nutrição mineral de plantas para produção de mudas (WACHHOLZ et al., 2017).

O Anexo VI da Instrução Normativa -IN MAPA nº 17 DE 18/06/2014 estabelece o Regulamento Técnico para os valores de referência utilizados como limites máximos de contaminantes admitidos em compostos orgânicos, em mg kg⁻¹ de matéria seca: Pb: 45; Cd: 0,7; Cr: 70; Cr⁺⁶: 0,0 (BRASIL, 2014).

Segundo Dal Bosco et al. (2017) são várias técnicas alternativas que podem ser utilizadas para auxiliar no tratamento dos resíduos orgânicos. Dentre elas é importante ressaltar a compostagem e a vermicompostagem, que ao final do processo, em ambas as técnicas, é gerado um produto de alta qualidade para nutrição de plantas (SARTORI et al., 2012;

ANTONIOLLI et al., 2002), assim como, promove aumento gradativo de macro e micronutrientes e teor de matéria orgânica no solo (TRANI et al., 2013).

A compostagem é um processo aeróbio controlado para o tratamento e/ou estabilização de resíduos orgânicos, com a presença de uma população diversificada de microrganismos (bactérias actinomicetas, leveduras e fungos) (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008; EL FELS et al., 2014).

O processo apresenta eficiência no controle de patógenos, reduz toxicidade, volume, umidade e odores fortes e desagradáveis, que podem ocorrer se os resíduos manejados inadequadamente, além de ser uma técnica de baixo custo, no qual é gerada uma fonte de matéria orgânica (CAPRARA, 2016; GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ et al., 2015). O composto curado, ou seja, o produto gerado estará finalizado cerca de 120 a 150 dias do início do processo (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).

A vermicompostagem é uma técnica de degradação e estabilização biológica da matéria orgânica, que pela ação das minhocas nesse processo, o resíduo é transformado em um produto rico em nutrientes necessários as plantas, considerado adubo orgânico, conhecido como vermicomposto (ALVAREZ et al., 2019; ANTUNES et al., 2016; BALDOTTO et al., 2012). Segundo Kiehl (1985), a utilização das minhocas para digerir a matéria orgânica, ocorre a degradação e assim acelera o processo de compostagem.

A utilização de microrganismos eficazes (E.M's), que são constituídos basicamente de comunidades de leveduras, actinomicetos, bactérias produtoras de ácido láctico e bactérias fotossintetizantes (PEGORER et al., 1995), no processo, podem ser úteis para acelerar significativamente a estabilização dos materiais orgânicos, além de eliminar odores indesejáveis (LUNA FEIJOO; MESA REINALDO, 2017; SOUZA; CARMO; SILVA, 2019).

Dessa forma, o emprego de técnicas alternativas para o gerenciamento desses resíduos, como a compostagem e vermicompostagem é de interesse, já que evita os impactos decorrentes da má gestão, assim como permite a produção de compostos de qualidade (CASTRO; OLIVEIRA, 2017), como uma excelente alternativa, na produção de mudas florestais, de grande importância econômica para o País, como o *Eucalyptus* sp. Esse gênero florestal exótico tem grande importância na cadeia produtiva de diversos setores do País (PEREIRA et al., 2000), além de ser muito utilizado em sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA), como descrito por Melotto et al. (2012).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae, tem origem na Austrália, Tasmânia e ilhas da Oceania. Possui diversas espécies, que podem apresentar características específicas quanto ao crescimento, desenvolvimento e adaptabilidade a condições ambientais, e destinadas

a várias finalidades como lenha, carvão vegetal, geração de energia, entre outras (ALZATE; TOMAZELLO FILHO; PIEDADE, 2005; PEREIRA et al., 2000), representado por mais de 800 espécies (FLORES et al., 2016).

Dentre todas as espécies, o *Eucalyptus dunnii* Maiden, destaca-se na região Sul do Brasil, devido ao rápido crescimento, tolerância aos danos causados pelas geadas e solos pobres (LEITE et al., 1973). A espécie exige condições climáticas para produção comercial como precipitação e temperatura média, de 845 mm a 1.950 mm e 12 e 22°C, respectivamente, além de chuvas regulares no verão, pois não tolera mais que cinco meses sem chuvas (PALUDZYSZYN FILHO; SANTOS; FERREIRA, 2006).

O sucesso de sobrevivência das mudas em campo, depende de sua qualidade, que está diretamente relacionada com as características físicas e químicas do substrato (WENDLING; GUASTALA; DEDECEK, 2007), porque o material que o compõe interfere diretamente na germinação e no estabelecimento das plântulas, já que condiciona o substrato quanto à sua estrutura, aeração, capacidade de retenção de água e grau de contaminação por patógenos (SILVA et al., 2011), além da nutrição das mudas. O padrão de qualidade das mudas pode ser observado na Figura 2.



Figura 2- Padrão de qualidade das mudas de eucalipto.
Fonte: AVAM FLORA (2021).

Para determinação da qualidade de mudas são utilizados parâmetros morfológicos e fisiológicos, além de resultados que avaliam o desenvolvimento das plantas em campo. Os parâmetros morfológicos mais utilizados para estimar o padrão de qualidade são altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (D), relação altura/diâmetro do coleto (H/D), massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST), índice de qualidade de Dickson (IQD), nº de folhas (NF) e área foliar (AF) já os parâmetros fisiológicos são o teor clorofila e fluorescência (GOMES; PAIVA, 2011).

A determinação de parâmetros quanto a qualidade do torrão, também avalia a qualidade das mudas. A facilidade de retirada da muda do tubete (FRT), determina a preparação e agilidade para expedição das mudas, que se apresentar desintegração do torrão, dificulta o processo de plantio e estabelecimento das mudas, já a agregação das raízes ao substrato (AGR), evita que as raízes fiquem expostas ao ressecamento e prejudica a pega e desenvolvimento inicial das mudas (WENDLING; GUASTALA; DEDECEK, 2007).

Assim, a produção de mudas de qualidade é uma das etapas mais importantes no estabelecimento de cultivos florestais, que está condicionada pelo uso de sementes idôneas e substratos de boa qualidade (DA SILVA et al., 2014).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A.; OLIVEIRA, R. R.; FERREIRA, D. H. A. A. Caracterização e potencial de substratos formulados com bio sólido na produção de mudas de *Schinus terebinthifolius* Raddi. e *Handroanthus heptaphyllus* (Vell.) Mattos. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 4, p. 1179-1190, 2017.
- ALVAREZ, J. M.; PASIAN, C.; LAL, R.; LÓPEZ, R.; FERNÁNDEZ, M. Vermicompost and biochar substrates can reduce nutrients leachates on containerized ornamental plant production. **Horticultura Brasileira**, v.37, n.1, 2019.
- ALZATE, S. B. A.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, SP, n. 68, p. 87-95, 2005.
- ANTONIOLLI, Z. I.; GIRACCA, E. M. N.; BARCELLOS, L. A.; VENTURINI, S. F.; VENTURINI, E. F.; WIETHAN, M. M. S.; CARLOSSO, S. J. T.; BENEDETTI, T.; SENHOR, T. C.; SANTI, G. R. **Minhocultura e vermicompostagem**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria: Departamento de Solos, 24 p., 2002 (Boletim Técnico, 3).
- ANTUNES, R. M.; CASTILHOS, R. M. V.; CASTILHO, D. D.; ANDREAZZA, R.; DOS ANJOS LEAL, O. Crescimento inicial de acácia-negra com vermicompostos de diferentes resíduos agroindustriais. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 1-10, 2016.
- ARAÚJO, A. C.; ARAÚJO, A. C.; DANTAS, M. K. L.; PEREIRA, W. E.; ALOUFA, M. A. I. Utilização de substratos orgânicos na produção de mudas de mamoeiro formosa. **Revista Brasileira de Agroecologia**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 210-216, 2013.
- ARAÚJO, E. F.; AGUIAR, A. S.; ARAUCO, A. M. S.; GONÇALVES, E. O.; ALMEIDA, K. N. S. Crescimento e qualidade de mudas de paricá produzidas em substratos à base de resíduos orgânicos. **Nativa**, v. 5, n. 1, p. 16-23, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama/>> Acesso em: 23 ago. 2021.
- AVAM FLORA. **Mudas- nosso padrão de qualidade**. Disponível em: <<http://www.avamflora.com.br/mudas/>> Acesso em: 08 dez. 2020.
- BALDOTTO, L. E. B.; SILVA, L. G. JR. S.; CANELLAS, L. P.; OLIVARES, F. L.; BALDOTTO, M. A. Initial growth of maize in response to application of rock phosphate, vermicompost and endophytic bacteria. **Revista Ceres**, v.59, n.2, p. 262-70, 2012.
- BARRETO, C. V. G.; TESTEZLAF, R.; SALVADOR, C. A. Dinâmica do potencial matricial em substratos de pinus e coco sob ação da capilaridade. **Horticultura Brasileira**, Vitória da Conquista, v. 30, n. 1, p. 26-31, 2012.
- BRASIL. **Lei 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). **Instrução Normativa nº 17** de 18 de junho de 2014: Estabelece o Regulamento Técnico para os Sistemas Orgânicos de Produção, bem como as listas de substâncias e práticas permitidas para uso nos Sistemas Orgânicos de Produção. 2014. 22 p.

BURÉS, S. **Substratos**. Madrid: Ediciones Agrotécnicas S. L., 1997. 341p.

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

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

CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O.; WENDLING, I.; MARTINS, R. C. C. Produção de mudas. In: SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. **Silvicultura do Eucalipto no Brasil**. 1a. ed., Santa Maria: Editora UFSM, p. 49-82, 2016.

CAPRARA, P. T. **Utilização da compostagem de resíduos sólidos urbanos no Brasil: avaliação dos problemas ocorridos no passado e considerações para projetos futuros**. 2016. 122f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais) - Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2016.

CARDOZO, D.; RODRIGUES, N.; SILVA, B.; SIMONINI, F. Logística reversa na comercialização de frutas, legumes e verduras: um estudo sobre os desperdícios e resíduos em feiras livres. **Revista NEADS**. v. 1. 2020.

CASAGRANDE, A. M.; FREIRE, H. V. D.; MOURA, L. M. S.; QUINTAS, L. M. P. Destino do resíduo orgânico do lar escola Santa Verônica: como tornar restos alimentares em adubo orgânico através da técnica de compostagem. **Revista Ciência Humanas – Educação e Desenvolvimento Humano – UNITAU**, v. 10, dezembro/2017.

COSTA, J. R.; HOMEM-JUNIOR, A. C. Desperdícios de hortifrutícolas e utilização da compostagem como forma de reciclar os resíduos. In: III SIMTEC – Simpósio de Tecnologia da FATEC, 2015.

COSTA, L. A. M.; COSTA, M. S. S. D. M.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H.; MACCARI, S. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 675-682, Oct. 2013.

CUNHA-QUEDA, C.; MORAIS, M. C.; RIBEIRO, H. M.; ALMEIDA, M. H. Caracterização de compostos e de materiais orgânicos para a formulação de substratos para viveiros. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 33, n. 1, p. 367-375, 2010.

DAL BOSCO, T. C.; GONÇALVES, F.; DE ANDRADE, F. C.; TAIATELE JUNIOR, I.; SILVA, J. C.; SBIZZARO, M. Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. In: DAL BOSCO, T. C. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas**. São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher Ltda, 2017. cap. 1, p. 19-43.

DARRIGRAN, G. Summary of the distribution and impact of the golden mussel in Argentina and neighboring countries. In: CLAUDI R.; MACKIE G. **Practical Guide for the Monitoring and Control of Aquatic Invasive Molluscs in Freshwater Systems**. Boca Raton, Taylor & Francis Group, 2010, p. 389-396.

DA SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 609-619, 2014.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, v.26, p.37-44, 1972.

DE FREITAS, Ludmila et al. Indicadores da qualidade química e física do solo sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Unimar Ciências**, v. 26, n. 1-2, 2017.

DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v.21, p. 224-233, 2014.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

EL FELS, L.; ZAMAMA, M.; EL ASLI, A.; HAFIDI, M. Assesment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocelulosic waste by chemical, FTIR analyses, and phytotoxicity tests. **International Biodeterioration & Biodegradation**. Marrakesh, Morocco, v. 87, p. 128–137, 2014.

FERMINO, M. H.; KAMPF, A. Densidade de substratos dependendo dos métodos de análise e 100 níveis de umidade. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 1, p. 75 – 79, 2012.

FERMINO, M. H. **Substratos**: Composição, caracterização e métodos de análise. Guaíba: Agrolivros, 2014. 112p. il.

FERREIRA, M. S.; MÁRSICO, E. T.; JUNIOR, C. A. C.; JÚNIOR, A. N. M.; MANO, S. B.; SÃO CLEMENTE, S. C. Contaminação por metais traço em mexilhões *Perna perna* da costa brasipilha. **Ciência Rural**, v. 43, n. 6, p. 1012-1020, 2013.

FLORES, T. B.; ALVARES, C. A.; SOUZA, V. C.; STAPE, J. L. (2016). **Eucalyptus no Brasil: zoneamento climático e guia para identificação** (448 p.). Piracicaba: IPEF.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. Viçosa, MG: UFV, 2011. 116 p. (Série Didática).

GONÇALVES E. O.; PETRI G. M.; CALDEIRA M. V. W.; DALMASO T. T.; SILVA A. G. Crescimento de mudas de *Ateleia glazioviana* em substratos contendo diferentes materiais orgânicos. **Revista Floresta e Ambiente**. 21(3): 339-348, 2014.

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, J. J.; GALEA, Z.; ÁLVAREZ, J. M.; HORMAZA, J. I.; LÓPEZ, R. Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole

production residues. **Journal of Environmental Management**. Sevilla, v.147, p. 132-139. 2015.

IBÁ – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório IBÁ 2020**. São Paulo: IBÁ, 2020.

KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. Guaíba: Agrolivros, 2ºed., 254p. 2005.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985. p. 492.

KOWALSKI, E. L.; KOWALSKI, S. C. Revisão sobre métodos de controle do mexilhão dourado em tubulações. **Revista Produção Online**, Santa Catarina, PR, v. 8, n. 2, julho, 2008.

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

KROB, A. D.; MORAES, S. P.; SELBACH, P. A.; BENTO, F. M.; CAMARGO, F. A. D. O. Propriedades químicas de um Argissolo tratado sucessivamente com composto de lixo urbano. **Ciência. Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 3, p. 433-439, 2011.

LEITE, N. B.; FERREIRA, M.; RAMOS, P. G. D. Efeito de geadas sobre diversas espécies e procedências de *Eucalyptus spp* introduzidas na região de Lages - Santa Catarina. Piracicaba: IPEF, 1973. p. 123. (IPEF. Circular Técnica, 7).

LOPES, G. E. M.; VIEIRA, H. D.; JASMIM, J. M.; SHIMOYA, A.; MARCIANO, C. R. Casca do fruto da mamoneira como substrato para as plantas. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 3, p. 350-358, 2011.

LUNA FEIJOO, I. M. A.; MESA REINALDO, M. J. R. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. **Revista Científica Agroecosistemas**, v. 4, n. 2, p. 31-40, 13 fev. 2017.

MAHADAL, S. A.; TSAMBE, M. Z.; MONJANE, A. A. R.; GEHLING, G. R. Avaliação agronômica de um biossólido na produtividade da couve. **Tecno-Lógica**, Santa Cruz do Sul, v. 20, n. 2, p. 80-86, 2016.

MARCHEZETTI, A. L.; KAVISKI, E.; BRAGA, M. C. B. Aplicação do método AHP para a hierarquização das alternativas de tratamento de resíduos sólidos domiciliares. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 2, p. 173-187, 2011.

MASSUKADO, L. M.; MILANEZ, B.; LUEDEMANN, G.; HARGRAVE, J. Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: Uma análise pós PNSB 2008 - ênfase na destinação final e nos resíduos orgânicos. **Revista DAE**, n. 192, p. 22-33, 2012.

MELOTTO, A. M.; LAURA, V. A.; BUNGENSTAB, D. J.; FERREIRA, A. D. Espécies florestais em sistemas de produção em integração. In: BUNGENSTAB, D. J. **Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável**. Brasília, DF: Embrapa, 2012. cap. 8, p. 106-109.

MORETTI, S. M. L.; BERTONCINI, E. I.; ABREU-JUNIOR, C. H. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning. **Scientia Agricola**, Piracicaba, SP, v. 72, n.5, p.432-439, set./out. 2015.

NOGUEIRA, T. A. R.; SAMPAIO, R. A.; FERREIRA, C. S.; FONSECA, I. M. Produtividade de milho e de feijão consorciados adubados com diferentes formas de lodo de esgoto. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 6, n. 1, p. 122-131, 2006.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. Compostagem. **Piracicaba–São Paulo**, p. 19, 2008.

PALUDZYSZYN FILHO, E.; SANTOS, P. E. T.; FERREIRA, C. A. **Eucaliptos indicados para plantio no Estado do Paraná**. Colombo: Embrapa Florestas – CNPF, 2006. 45 p. (Documentos, 129).

PEGORER, A. P. R.; FRANCH, C. M. C.; FRANCH, J. L.; SIQUEIRA, M. F. B.; MOTTA, S. D. **Informações sobre o uso do E. M. (Microorganismos Eficazes)** – Apostila Agricultura natural messiânica – Fundação Mokiti Okada – Rio de Janeiro, 14 p., 1995.

PEREIRA, J. C. D.; STURION, J. A.; HIGA, A. R.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. **Embrapa Florestas-Documents (INFOTEC-A)**, 2000.

RIBEIRO, M. D. S. B.; JORGE, L. A. B.; MISCHAN, M. M.; SANTOS, A. L. D.; BALLARIN, A. W. Avaliação da produção de biomassa do fuste de um clone híbrido de eucalipto sob diferentes espaçamentos. **Ciência florestal**, v. 27, p. 31-45, 2017.

SARTORI, V. C.; RIBEIRO, R. T. S.; PAULETTI, G. F.; PANSEIRA, M. R.; RUPP, L. C. D.; VENTURIN, L.; RIBEIRO, T. S. **Cartilha para Agricultores: COMPOSTAGEM; Produção de fertilizantes a partir de resíduos orgânicos**. Universidade de Caxias do Sul, 16 p., 2012.

SCHAFER, G.; SOUZA, P.V.D.; FIOR, C.S. Um panorama das propriedades físicas e químicas de substratos utilizados em horticultura no sul do Brasil. **Ornamental Horticulture**, v.21, n3, p. 299-306, 2015.

SCHRÖDER, T.; ZIMMERMANN, A. P. L.; FLEIG, F. D.; DOMINGOS NETO, V. C. Funções de densidade probabilística para predição da distribuição diamétrica em plantios de eucalipto em função do espaçamento. **Rev. do Instituto Florestal**, v. 28, n. 2, p. 111-117, 2016.

SGORLON, J. G.; RIZK, M. C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 4, p. 421-424, 2011.

SILVA, P. R. D.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Avaliação do potencial agrônomo de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 6, n. 4, p.565-575, 2011.

SOUZA, L. A.; CARMO, D. F.; SILVA, F. C. Uso de microrganismos eficazes em compostagem de resíduos sólidos orgânicos de feira e restaurante. **Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 42-54, 2019.

SUGUINO, Eduardo et al . Efeito da porosidade do substrato casca de pínus no desenvolvimento de mudas de grumixameira¹. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal , v. 33, n. spe1, p. 643-648, 2011.

TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; HANASIRO, J. Adubação orgânica de hortaliças e frutíferas. **Instituto Agrônomo de Campinas, IAC**, 2013.

TRAZZI, P. A.; CALDEIRA, M. V. W.; REIS, E. F. D.; SILVA, A. G. D. Produção de mudas de *Tectona grandis* em substratos formulados com biossólido. **Cerne**, v. 20, p. 293-302, 2014.

TYAGI, V. K.; FDEZ-GÜELFO, L. A.; ZHOU, Y.; ÁLVAREZ-GALLEGU, C. J.; GARCIA, L. R.; NG, W. J. Anaerobic co-digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW): Progress and challenges. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 93, p. 380-399, 2018.

VICENTINI, L. S.; CARVALHO, K.; RICHTER, A. S. Utilização de microorganismos eficazes no preparo da compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

WACHHOLZ, L.; VIANNA. R. N.; BROCH, J.; DE SOUZA, C. Possibilidade do uso de Mexilhão Dourado contaminado com metais tóxicos em dietas para frangos de corte. **Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA**, p. 227-235, 2017.

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

ZAGO, V. C. P.; BARROS, R. T. V. Gestão dos resíduos sólidos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 2, p. 219-228, 2019.

ZORZETO, T. Q.; DECHEN, S. C. F.; ABREU, M. F. D.; FERNANDES JÚNIOR, F. Caracterização física de substratos para plantas. **Bragantia**, v. 73, n. 3, p. 300-311, 2014.

3 CAPÍTULO 1: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E QUÍMICA DE COMPOSTOS ORGÂNICOS FORMADOS POR MEIO DOS PROCESSOS DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

RESUMO

Os resíduos orgânicos, podem ser fontes alternativas viáveis na produção de compostos de qualidade. O objetivo desse trabalho foi avaliar as características físicas e químicas de compostos orgânicos provenientes do processo de compostagem e vermicompostagem utilizando mexilhão dourado e resíduos urbanos (poda de árvore+resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras)+biossólido), da cidade de Foz do Iguaçu-PR. Foram construídas 4 pilhas de compostagem: P1 (resíduos urbanos), P2 (resíduos urbanos+mexilhão dourado), P3 (resíduos urbanos+microrganismos eficazes (E.M's)) e P4 (resíduos urbanos+mexilhão+E.M's), a partir dos materiais pré-estabilizados pela compostagem, por 30 dias, iniciou-se a vermicompostagem, seguindo delineamento experimental (DBC), em esquema de parcelas subdivididas, com 5 repetições. As parcelas foram constituídas pelos quatro compostos orgânicos distintos pré-estabilizados por 30 dias advindos do processo de compostagem: V1 (P1), V2 (P2), V3 (P3) e V4 (P4) e as subparcelas compostas por 5 tempos de avaliação: DIA 0 (No dia da implantação do experimento), DIA 15 (15 dias do início do processo de vermicompostagem), DIA 30 (30 dias do início do processo), DIA 45 (45 dias do início do processo) e DIA 60 (60 dias do início do processo). As características avaliadas foram: sólidos totais, fixos e voláteis (ST, SF, SV), umidade relativa (UR), relação carbono/nitrogênio (C/N), pH, condutividade elétrica (CE) e teste de fitotoxicidade. E no final do processo relação C/N, metais pesados tóxicos, macro e micronutrientes e contagem final de minhocas-cliteladas, não-cliteladas e ovos. Em relação a compostagem, os resultados demonstraram que os compostos produzidos respeitaram os limites estabelecidos pela IN nº 25/2009 do MAPA, e pela Resolução CONAMA Nº 375/2006. Já a vermicompostagem, observou-se que os compostos pré-estabilizados utilizados no processo proporcionaram condições adequadas para a reprodução das minhocas. E ao final do processo, o teor médio de Pb 53,29 (mg kg⁻¹) em relação ao final da compostagem 86,36 (mg kg⁻¹), apresentou uma redução de 62%. As maiores concentrações de nutrientes foram de nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Já em relação aos micronutrientes, o ferro (Fe) e o zinco (Zn) foram os que apresentaram maiores concentrações. A concentração média de N no final da compostagem era de (23,21 g kg⁻¹) e após a vermicompostagem a concentração reduziu para (21,68 g kg⁻¹), uma redução de 7%. Quanto ao Ca, a presença do mexilhão dourado não influenciou na maior concentração deste, no final da compostagem era de (48,47 g kg⁻¹) e após a vermicompostagem a concentração reduziu para (32,82 g kg⁻¹), uma redução de 32%. Embora, apresentado uma redução destes elementos nos vermicompostos. Os teores dos nutrientes encontraram-se nos limites estabelecidos pela IN nº 25, de 25 de julho de 2009, do MAPA. A presença do mexilhão dourado, não aumentou a concentração de cálcio e não apresentou toxicidade aos compostos estudados, além de que o uso E.M's, na proporção estudada, não influenciou na redução do tempo do processo de estabilização dos resíduos orgânicos, ou seja, todos os compostos apresentaram maturação, ao mesmo tempo.

Palavras-chave: Biossólido. *Eisenia foetida*. Resíduos urbanos.

ABSTRACT

Organic residues can be viable alternative sources in the production of quality compounds. The objective of this work was to evaluate the physical and chemical characteristics of organic compounds from the composting and vermicomposting process using golden mussel and urban waste (tree pruning+vegetable waste (fruit, vegetable and vegetable waste)+biosolid) from the city of Foz of Iguaçu-PR. Four composting piles were built: P1 (urban waste), P2 (city waste+golden mussel), P3 (city waste+effective microorganisms (E.M's)) and P4 (urban waste+mussel+E.M's), the materials pre-stabilized for 30 days by composting, vermicomposting was started, following an experimental design (DBC), in a split-plot scheme, with 5 replications. The plots consisted of four distinct organic compounds pre-stabilized for 30 days from the composting process: V1 (P1), V2 (P2), V3 (P3) and V4 (P4) and the subplots composed of 5 evaluation times: DAY 0 (On the day of implementation of the experiment), DAY 15 (15 days from the start of the vermicomposting process), DAY 30 (30 days from the start of the process), DAY 45 (45 days from the start of the process) and DAY 60 (60 days from the start of the process). The characteristics evaluated were: total solids, fixed and volatile (ST, SF, SV), relative humidity (RH), carbon/nitrogen ratio (C/N), pH, electrical conductivity (EC) and phytotoxicity test. And at the end of the process, C/N ratio, toxic heavy metals, macro and micronutrients and final count of earthworms clithelated, no-clithelated and eggs. Regarding composting, the results showed that the composts produced respected the limits established by MAPA's IN n°. 25/2009, and by CONAMA Resolution n°. 375/2006. As for vermicomposting, it was observed that the pre-stabilized compounds used in the process provided adequate conditions for the reproduction of earthworms. And at the end of the process, the average content of Pb 53.29 (mg kg⁻¹) compared to the end of the composting 86.36 (mg kg⁻¹), showed a reduction of 62%. The highest concentrations of nutrients were nitrogen (N) and calcium (Ca). In relation to micronutrients, iron (Fe) and zinc (Zn) were the ones with the highest concentrations. The mean concentration of N at the end of composting was (23.21 g kg⁻¹) and after vermicomposting the concentration reduced to (21.68 g kg⁻¹) a 7% reduction. As for Ca, the presence of the golden mussel did not influence its higher concentration, at the end of the compost it was (48.47 g kg⁻¹) and after vermicomposting the concentration decreased to (32.82 g kg⁻¹) a 32% reduction. Although, presented a reduction of these elements in vermicomposts. Nutrient contents were within the limits established by IN n°. 25, of July 25, 2009, of MAPA. The presence of the golden mussel did not increase the calcium concentration and did not show toxicity to the compounds studied, in addition to the E.M's use, in the studied proportion, did not influence the reduction of the time of the stabilization process of organic residues, that is, all compounds showed maturation at the same time.

Keywords: Biosolid. *Eisenia foetida*. Urban waste.

3.1 INTRODUÇÃO

O uso e distribuição de resíduos orgânicos no meio agrícola consiste em um processo economicamente viável e sustentável, sendo capaz de devolver ao solo parte dos nutrientes exportado pelas colheitas (DORES-SILVA et al., 2013). Dentre os resíduos orgânicos, dois deles destacam-se atualmente pelas suas características peculiares e alta disponibilidade: o bioossólido e o mexilhão dourado.

O bioossólido, produzido nas estações de tratamento de esgoto (ETE's), trata-se do lodo resultante do sistema biológicos de despejos líquidos sanitários, com características que atendam às condições das legislações para uma utilização segura na agricultura. No entanto, o manejo desse material é considerado um grande desafio e sua disposição final é um problema urgente, o qual demanda cuidados (CABREIRA et al., 2017).

Enquanto, o mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), um molusco bivalve e exótico de caráter invasor; tem-se apresentado como um problema em usinas hidrelétricas, pois sua alta taxa de reprodução causa sérios danos como obstruções nos sistemas de tubulações (PESTANA et al., 2008). Todavia, esse molusco apresenta elevadas concentrações de cálcio, o que oferece potencialidades para a nutrição mineral das plantas (BAYERLE et al., 2017). Além disso, estudos demonstram que o bioossólido e o mexilhão dourado contêm elementos nutricionais que podem ser usados por microrganismos (BAYERLE et al., 2017; SABARATMAN; ALI HASSAN, 2012; ILANI et al., 2016).

Para a disposição de forma assimilável pelas plantas, dos nutrientes contidos nos resíduos orgânicos, há necessidade de certo nível de estabilização, necessitando de algum processo químico, físico ou biológico (DORES-SILVA et al., 2013). Dentre os processos biológicos podem-se citar a compostagem e vermicompostagem, que são definidas como técnicas aeróbias de tratamento e reciclagem dos nutrientes, produzindo compostos orgânicos de qualidade e de maneira eficiente quando bem manejados (NASIRU et al., 2013; CARNEIRO et al., 2013). Também destaca-se o uso de soluções ricas em microrganismos, as quais minimizam o tempo de degradação do material orgânico e otimiza espaço (VICENTINI et al., 2009).

No entanto, por mais que submeter resíduos orgânicos à processos de estabilização pareça simples, é necessário garantir alguns parâmetros para que o processo ocorra de maneira eficaz. Para tanto, a determinação das características físicas e químicas dos compostos pode ser utilizada para verificar o grau de maturação do composto. Dessa forma, com o auxílio de análises químicas e físicas é possível acompanhar o processo de maturação/estabilização do

material orgânico e afirmar sua qualidade ao final do processo de compostagem (TAKANE et al., 2012).

Diante do exposto, acredita-se que a toxicidade dos resíduos orgânicos potencialmente poluidores, biossólido e mexilhão dourado, não se mantêm após a decomposição destes, e que o mexilhão proporcione um aumento na concentração de cálcio aos vermicompostos finais. Além disso, o uso da solução de microrganismos eficazes (E.M's) podem acelerar os processos de compostagem e vermicompostagem.

Logo, este trabalho teve por objetivo avaliar as características físicas e químicas de compostos orgânicos provenientes do processo de compostagem e vermicompostagem utilizando mexilhão dourado e resíduos urbanos, presentes em grande escala na cidade de Foz do Iguaçu-PR.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Caracterização da Área de Estudo

O experimento foi realizado na cidade de Foz do Iguaçu, localizada no extremo Oeste do Paraná, nos meses de abril a julho de 2019, nas dependências do Instituto Federal do Paraná (IFPR) Campus Foz do Iguaçu, com as coordenadas 25°30'16.6"S 54°34'30.7"W (GOOGLE EARTH, 2021). O clima municipal de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com temperaturas médias entre 20°C e 22°C, precipitação média anual entre 1600 mm e 1900 mm e altitude aproximada entre 400 e 600 m (ALVARES et al., 2014).

O experimento foi dividido em duas fases. Inicialmente foi realizado o processo de compostagem e em seguida deu-se início a vermicompostagem.

3.2.2 Processo de Compostagem

A montagem e manejo das pilhas foram realizados no período de abril a julho de 2019, a caracterização física e química dos compostos foi realizada no Laboratório de Biologia, Microbiologia e Qualidade de Água do IFPR-Campus Foz do Iguaçu, no Laboratório de Análise Química Ambiental e Instrumental e no Laboratório de Fertilidade de Solos e Nutrição Mineral de Plantas pertencente a Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) Campus Marechal Cândido Rondon.

Inicialmente, foram realizadas coletas dos resíduos no município de Foz do Iguaçu. No CEASA (Central de Abastecimento do Paraná S.A), foram coletados restos de frutas, verduras e legumes (resíduos vegetais), os resíduos de podas de árvores foram coletados no Horto Municipal e o biossólido, obtido da SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), estação de tratamento ETE-Ouro Verde. Estes resíduos, são caracterizados como resíduos urbanos, coletados com auxílio de uma pá. O mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), foi coletado manualmente de troncos e pedras do Iate Clube Lago de Itaipu (ICLI), no lago de Itaipu, obtido apenas a concha, já não havia a larva do molusco. Após, foi seco em temperatura ambiente por 10 dias e triturado em processador de alimentos (Figura 1a,1b,1c,1d).



Figura 1– Coleta dos resíduos utilizados para iniciar o processo de compostagem. (a) Resíduos vegetais coletados no CEASA; (b) Mexilhão dourado no tronco de árvores no Lago de Itaipu; (c) Resíduos de poda de árvores no Horto Municipal; (d) Biossólido na ETE Ouro verde.

Em seguida, os resíduos coletados foram encaminhados ao IFPR. O processo de compostagem foi realizado sobre piso de concreto coberto com lona e em local protegido (Figura 2).



Figura 2 – Disposição das pilhas no 1º dia da montagem no quiosque do IFPR- Foz do Iguaçu.

Foram construídas quatro pilhas de compostagem, de dimensões 1,10 m x 1,30 m x 0,80 m de altura, comprimento e largura, respectivamente. A composição de cada pilha e quantidade de cada material utilizado nos tratamentos de acordo com a relação C/N, são demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1– Identificação dos tratamentos das diferentes pilhas de compostagem

Pilhas	Composição (kg)				Total (kg)	Uso de E.M's	Relação C/N inicial
	Poda de árvores*	Resíduos vegetais*	Biossólido*	Mexilhão dourado			
P1	110,0	100,0	26,0	-	236,0	-	30/1
P2	150,0	100,0	30,0	4,0	284,0	-	30/1
P3	110,0	100,0	26,0	-	236,0	65 mL	30/1
P4	150,0	100,0	30,0	4,0	284,0	65 mL	30/1

*Resíduos Urbanos: resíduos de poda de árvores+resíduos vegetais+biossólido.

Resíduos vegetais: restos de frutas, legumes e verduras; E.M's: solução de microrganismos eficazes na proporção de 65 mL de E.M's/ 5 L de água sem cloro, aplicada conforme a necessidade de cada pilha, observado e monitorando a umidade; Relação C/N: Relação carbono e nitrogênio.

As pilhas foram montadas com alternância de camadas dos resíduos constituintes (Figura 3).



Figura 3– Alternância de camadas na montagem das pilhas de compostagem.

Foram monitorados fatores de temperatura, umidade e aeração das pilhas, assim como, observou-se a interferência do ambiente, através da temperatura ambiente. O monitoramento da temperatura das pilhas foi realizado diariamente por meio de um termômetro químico, em três pontos de observação: topo, centro e base (Figura 4).

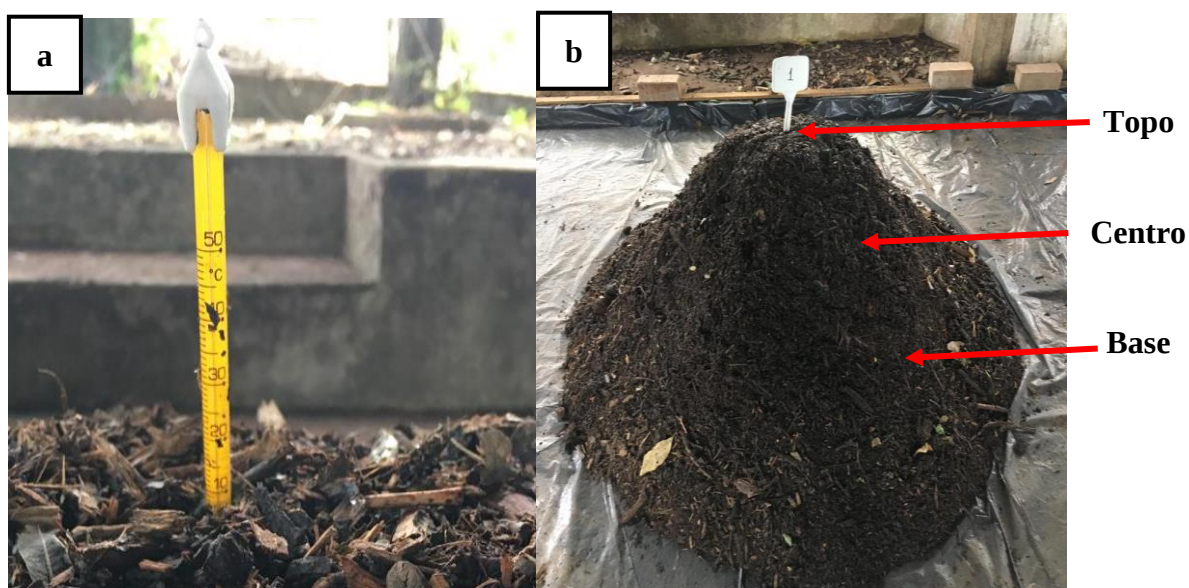


Figura 4 – Controle da temperatura durante o processo de compostagem. (a) Termômetro químico utilizado nas observações; (b) Identificação dos pontos de observação na pilha de compostagem.

O controle da umidade das pilhas, foi realizada por meio de irrigações diárias (Figura 5), conforme a necessidade de cada uma, visto que nas pilhas 3 e 4, a irrigação era realizada com 5 L de água sem cloro + 65 mL da solução de E.M's, uma proporção de diluição de no mínimo 1/75, conforme proposto por Rubio et al. (2017), a qual não apresenta potencial de toxicidade.



Figura 5 – Controle de umidade das pilhas com auxílio de um regador.

Para aeração das pilhas, após uma semana da construção das pilhas, foi iniciado o processo de revolvimento, realizado manualmente com auxílio de pás (Figura 6).

A frequência de revolvimento inicialmente foi de três vezes na semana, decorridos 15 dias do processo de compostagem, foi de 2 vezes na semana, e por fim, após 45 dias do início do processo, os revolvimentos tornaram-se semanais.



Figura 6 – Revolvimento manual das pilhas de compostagem com auxílio de pá.

Os dados de temperaturas mínimas, médias e máximas, foram obtidos do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO) para os meses em que o experimento foi conduzido (abril a julho de 2019), são apresentados na Figura 7.

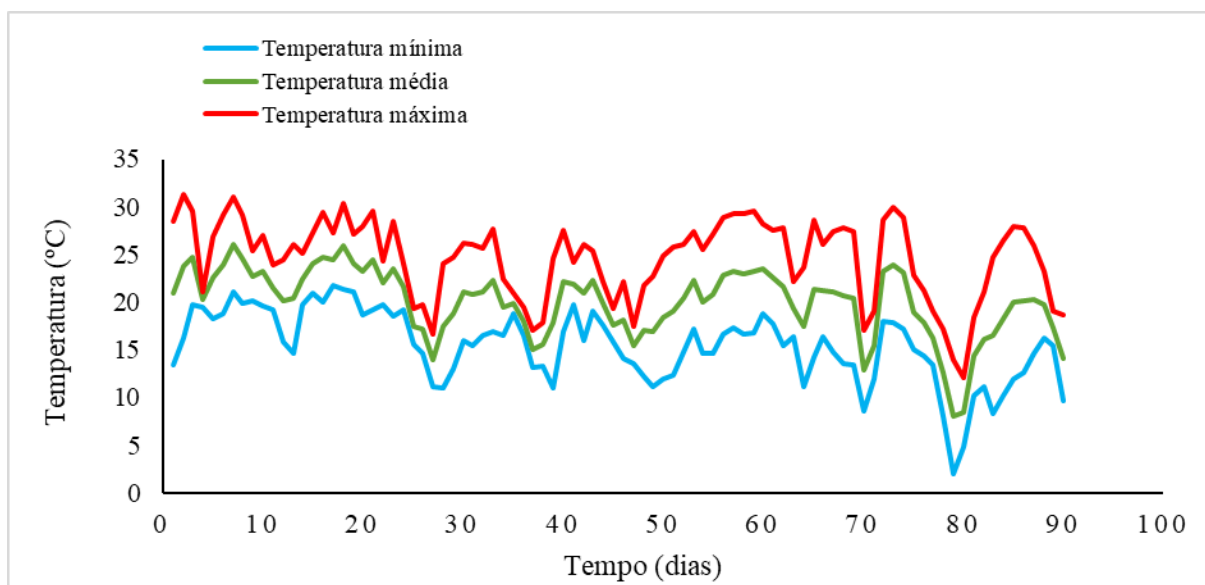


Figura 7- (a) Temperaturas mínima, média e máxima, (b) precipitação média e umidade relativa (UR) mínima e máxima diárias no período de abril a julho de 2019 no município de Foz do Iguaçu.

Fonte: AGRITEMPO (2019).

Para o processo de produção da solução de microrganismos eficazes (E.M's), foi utilizado uma adaptação proposta por Andrade et al. (2011).

Inicialmente, foi cozido 1 kg de arroz sem sal e óleo, e disposto em uma bandeja de plástico esterilizada, para resfriamento. Em seguida, o arroz foi distribuído em copos plásticos descartáveis e protegidos com gaze em sua abertura e dispostos em mata localizada no IFPR-Foz do Iguaçu, por 7 dias (Figura 8a).

O arroz que continha bolores coloridos (amarelados, rosados, arroxeados ou avermelhados) foi selecionado (Figura 8b) e disposto em uma garrafa plástica de 2 L com 1,5 L de água sem cloro, adicionado a 200 mL de melaço de cana (Figura 8c). O gás produzido pela fermentação dos microrganismos foi liberado a cada dois dias, durante 15 dias. Decorrido o tempo, realizou-se a filtração do arroz e conseqüente finalizou-se o preparo da solução (Figura 8d). A solução final dos E.M's apresentou pH: 2,84 e condutividade elétrica de 1,535 mS cm⁻¹.

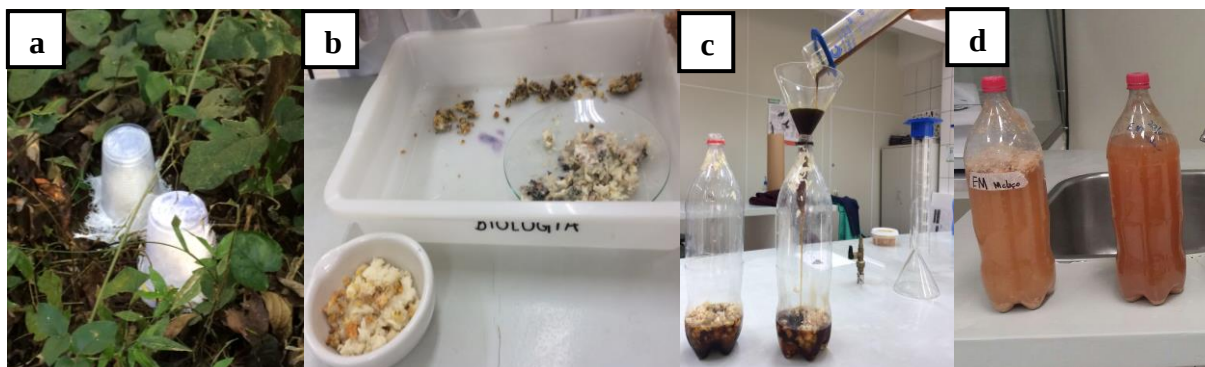


Figura 8– Etapas do preparo da solução de microrganismos eficazes. (a) Disposição dos copos plásticos na mata; (b) separação dos microrganismos; (c) adição de melaço para preparo da solução E.M's.; (d) solução dos E.M's pronta para uso.

Para caracterização inicial dos resíduos, nas amostras de cada resíduo, em triplicata, foram realizadas as seguintes análises: Sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e umidade (U).

De acordo com a metodologia de AOAC (2005), foram pesadas as amostras de 5 g de cada resíduo, secas em estufa, a 105 °C por 24 h, e pesadas novamente para determinação dos ST e umidade. As amostras já secas, foram conduzidas para o forno mufla, onde permaneceram por 8 horas a 550 °C para determinação de SF e SV.

As Equações (1) (2) (3) e (4) a seguir, foram utilizadas para determinação de ST, SF, SV e U, respectivamente:

$$ST (\%) = 100 \times \frac{P2}{P1} \quad (1)$$

ST = Sólidos totais (%)

P1 = Amostra úmida (g)

P2 = Amostra seca após a estufa (g)

$$SF (\%) = 100 \times \frac{P3}{P2} \quad (2)$$

SF = Sólidos fixos (%)

P2 = Amostra seca após a estufa (g)

P3 = Amostra seca após a mufla (g)

$$SV (\%) = 100 - SF \quad (3)$$

SV = Sólidos voláteis (%)

SF = Sólidos fixos (%)

$$U (\%) = 100 - ST \quad (4)$$

U = Umidade (%)

ST = Sólidos totais (%)

Foram realizadas análises quanto ao valor de pH e condutividade elétrica (CE). Para determinação, 10 g das amostras foram dispostas em copo becker de 100 mL, adicionando 50 mL de água destilada. A mistura resultante foi mantida em agitação por 15 min, após, a solução permaneceu em repouso por 15 minutos, e a leitura do pH se deu por meio de um pHmetro de bancada digital.

Da mesma solução preparada para determinação de pH, foi realizada a determinação de CE, com a leitura por meio de condutivímetro de bancada (AOAC, 2005).

Para determinação da relação carbono/ nitrogênio (C/N), foi realizada da seguinte forma: para a quantificação do C, as amostras dispostas na determinação dos sólidos totais foram colocadas no forno mufla, onde permaneceram a uma condição de 550 °C por 8 horas, de acordo com AOAC (2005).

O Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) foi determinado por meio da digestão sulfúrica (AOAC, 2005) e da destilação em Destilador de Nitrogênio e Proteínas (MANTOVANI et al., 2005). A relação C/N, resultou dos valores estabelecidos de cada elemento.

E para determinação de Ca, Cd, Pb e Cr do biossólido e mexilhão dourado foi realizada a análise química por meio de digestão nítrico-perclórica (AOAC, 2005) e determinações por

espectrofotometria de absorção atômica (EAA), modalidade chama seguindo a metodologia de Welz e Sperling (1999).

Para monitoramento do processo, foram realizadas determinações quinzenais referentes à ST, SF, SV, UR, pH e CE das pilhas, seguindo os métodos descritos acima.

E aos 25 dias da montagem das pilhas de compostagem foi realizado o teste de fitotoxicidade, apenas para determinar a toxicidade para a inserção das minhocas, conforme descrito a seguir:

Inicialmente 500 g de amostras de cada uma das quatro pilhas foram coletadas e secas em temperatura ambiente por 24 h.

Foram realizadas 4 repetições para cada tratamento, que totalizou em 20 unidades experimentais (placas de petri) de acordo com a metodologia de Zucconi et al. (1981). Os tratamentos foram compostos conforme a Tabela 1 e como controle (testemunha), foi utilizado água destilada.

Foram misturadas 5 g de cada amostra com 50 mL de água destilada e agitadas durante 30 minutos em agitador magnético. Após 30 min de descanso, as soluções foram filtradas em balão volumétrico, com papel filtro, até obtenção da solução (Figura 9ab). Posteriormente a solução, foi transferida para placas de Petri forradas com papel filtro e previamente esterilizadas na proporção de 6 mL, e adicionadas 20 sementes de alface (*Lactuca sativa*) em cada placa (Figura 9c).

As placas permaneceram na câmara de germinação Incubadora (BOD) durante 3 dias a 22 °C, em delineamento inteiramente casualizado (DIC). Em seguida, 10 plântulas de cada placa foram selecionadas aleatoriamente, e suas radículas medidas utilizando um paquímetro digital (Figura 1d). Mediante o controle, foi realizado o cálculo do índice de germinação, de acordo com a Equação 5, a seguir:

$$IG = \frac{\%G * \%L}{100} \quad (5)$$

IG- Índice de germinação (%)

%G- n° sementes germinadas tratamento/n° sementes germinadas controle (%)

%L- comprimento médio da radícula do tratamento/comprimento médio da radícula do controle (mm)
(%)

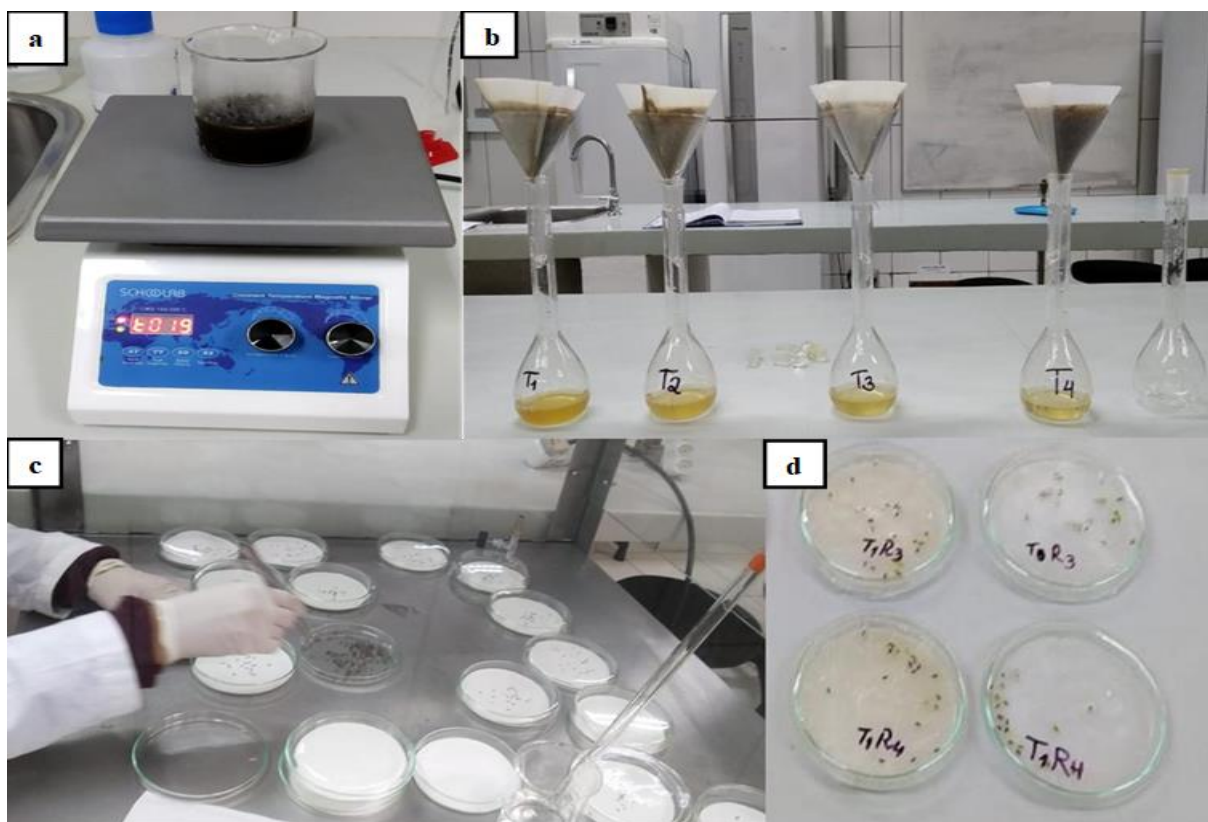


Figura 9– Etapas do teste de fitotoxidade com as sementes de alface (*Lactuca sativa*). (a) amostra moída e diluída em água destilada no agitador magnético; (b) filtragem da solução; (c) sementes de alface adicionadas nas placas de petri; (d) plântulas após 3 dias para avaliação.

Os dados foram verificados quanto às pressuposições da ANOVA, e posteriormente, foram submetidos à análise de variância e, quando constatada diferença significativa entre os tratamentos, foi realizada a comparação entre médias com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Genes[®] (Cruz, 2013).

Ao final do processo de compostagem, com duração de 90 dias do início do processo, os compostos orgânicos produzidos foram caracterizados quanto a: ST, SF, SV, UR, pH, CE, relação C/N e metais pesados tóxicos: Cd, Pb e Cr, conforme metodologias já descritas, assim como foi determinado a concentração de macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) e micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn).

A concentração de (N) foi determinada pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2005). (P) por colorimetria, (Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn), por espectrofotometria de absorção atômica (WELZ; SPERLING, 1999). A determinação de K foi realizada por fotometria de chama (SILVA, 1999). Para a determinação de Ca também utilizado o método de EAA/chama de Welz e Sperling (1999).

Não foi realizada análise estatística no processo de compostagem, mas a caracterização dos compostos provenientes das quatro pilhas de compostagem, das quais os materiais pré-estabilizados (aos 30 dias) formam a composição dos diferentes tratamentos avaliados no processo de vermicompostagem.

3.2.3 Processo de Vermicompostagem

O processo de vermicompostagem iniciou 30 dias após o início da compostagem, e ocorreu no período de maio a julho de 2019. As análises físicas e químicas dos vermicompostos foram realizadas no Laboratório de Biologia, Microbiologia e Qualidade de Água do IFPR-Campus Foz do Iguaçu.

Foram utilizados 20 vermireatores construídos por baldes plásticos com capacidade de 20 L, nas dimensões de 40 cm x 30 cm x 30 cm de altura, diâmetro e profundidade, respectivamente, cobertos por sombrite, e com furos na base, para escoamento de líquido e oxigenação dos vermireatores (Figura 10) (SOUZA et. al, 2017).



Figura 10 – Vermireatores alternativos produzidos utilizados no experimento.

O manejo consistiu na irrigação dos tratamentos com 600 mL de água, durante dois dias por semana. Além disso, nos tratamentos T3 e T4 foi adicionada 8 mL da solução E.M's na proporção de diluição de 1/75, conforme proposto por Rubio et al. (2017).

Para tanto, 30 dias após o início do processo de compostagem, foram retiradas 5 amostras de cada pilha, referentes a 1 kg de sólidos totais, e distribuídas 15 minhocas cliteladas

vermelha-da-califórnia (*Eisenia foetida*) (Figura 11), em cada vermireator (CESTONARO et al., 2012).

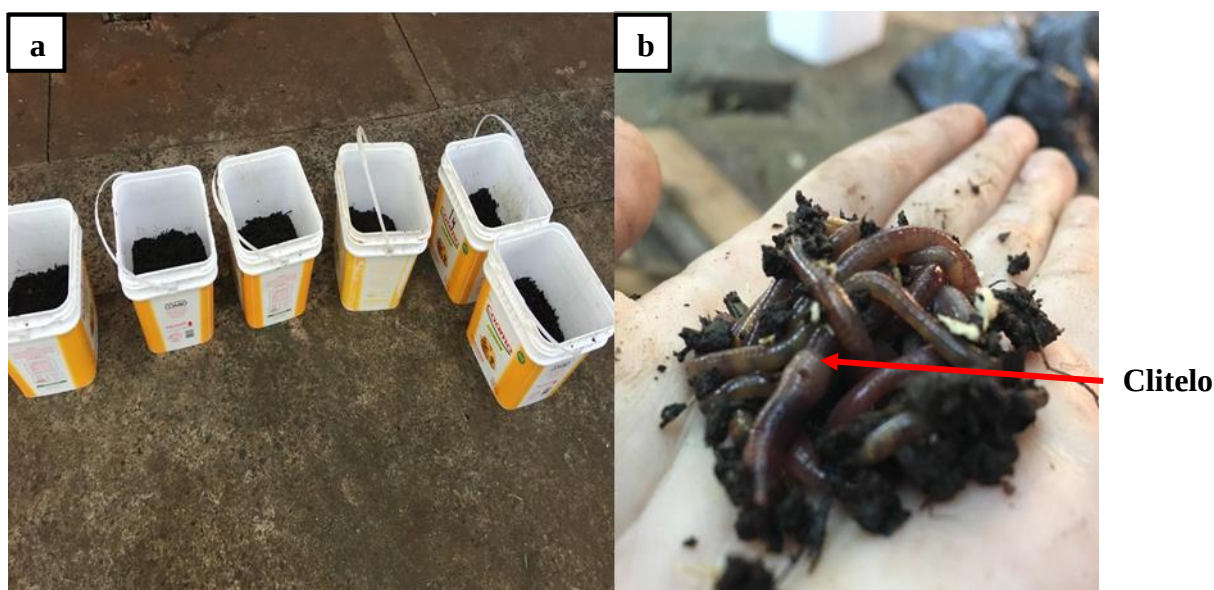


Figura 11 – Montagem do processo de vermicompostagem. (a) composto pré-estabilizado proveniente das pilhas de compostagem (vermicompostos); (b) separação de 15 minhocas vermelha-da-califórnia cliteladas, para distribuição nos vermireatores.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC) em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com 5 repetições (Figura 12).

BLOCO 1	V4	V3	V2	V1
BLOCO 2	V2	V4	V1	V3
BLOCO 3	V3	V1	V2	V4
BLOCO 4	V2	V3	V1	V4
BLOCO 5	V1	V3	V4	V2

Figura 12- Distribuição dos vermireatores em DBC.

As parcelas foram constituídas pelos quatro compostos orgânicos distintos pré-estabilizados por 30 dias advindos do processo de compostagem: V1 (Pilha 1: resíduos urbanos), V2 (Pilha 2: resíduos urbanos + mexilhão dourado), V3 (Pilha 3: resíduos urbanos + E.M's) e V4 (Pilha 4: resíduos urbanos + mexilhão + E.M's).

Para melhor compreensão, os compostos orgânicos pré-estabilizados, foram descritos como vermicompostos. As subparcelas foram compostas por quatro tempos de avaliação das características estudadas: DIA 0 (No dia da implantação do experimento), DIA 15 (15 dias do início do processo de vermicompostagem), DIA 30 (30 dias do início do processo), DIA 45 (45 dias do início do processo) e DIA 60 (60 dias do início do processo) (Tabela 2).

Tabela 2- Identificação dos tratamentos da vermicompostagem

Fonte de variação (Vermicompostos)	Identificação	Relação C/N inicial
V1	Material pré-estabilizado obtido da pilha 1	18/1
V2	Material pré-estabilizado obtido da pilha 2	17/1
V3	Material pré-estabilizado obtido da pilha 3	17/1
V4	Material pré-estabilizado obtido da pilha 4	17/1
Fonte de variação (Tempos de avaliação)	Identificação	
DIA 0	No dia da implantação do experimento	
DIA 15	15 dias do início do processo de vermicompostagem	
DIA 30	30 dias do início do processo de vermicompostagem	
DIA 45	45 dias do início do processo de vermicompostagem	
DIA 60	60 dias do início do processo de vermicompostagem	

C/N: Relação carbono e nitrogênio. Material pré-estabilizado: amostras dos compostos das pilhas retirado aos 30 dias do processo de compostagem. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

As características avaliadas no tempo foram: ST, SF, SV, UR, C, N, pH, CE e relação C/N de acordo com AOAC (2005) e Mantovani et al., (2005), descritos nos tópicos 2.2.2.4.1, 2.2.2.4.2, e 2.2.2.4.3, no qual, o delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados (DBC) simples, com 5 repetições e 4 vermicompostos distintos, constituindo os tratamentos.

Após 60 dias do processo de vermicompostagem, as avaliações finais foram: relação C/N, metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes, as quais seguiram as metodologias descritas nos tópicos 2.2.2.4.3, 2.2.2.4.4 e 2.2.2.5.2, respectivamente, além da contagem final de minhocas-cliteladas, não-cliteladas e ovos.

Os resultados das características avaliadas ao longo do tempo, foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para o teste F (Fisher).

Quando constatados efeitos significativos, foi realizada análise de regressão e escolhido o modelo que melhor se ajustasse a pesquisa. Já os resultados das características avaliadas no final do processo, foram tabulados e submetidos à análise de variância, e quando constatada diferença significativa pelo teste F, foi realizada a comparação entre médias com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico Genes[®] (CRUZ, 2013).

Se os dados não apresentaram normalidade e homogeneidade, as pressuposições não foram transformadas. O teste paramétrico F da ANOVA obteve resultados mais satisfatórios que os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Friedman, mesmo para situações que se distanciam da normalidade. Em síntese, não há necessidade de substituir o teste paramétrico F pelos seus respectivos competidores não paramétricos na ausência de normalidade. Desde que, observando outros parâmetros da análise estatística principalmente quanto ao coeficiente de variação, diferença mínima significativa (D.M.S) (REIS; RIBEIRO, 2007).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Processo de Compostagem

Para iniciar o processo de montagem das pilhas de compostagem foi realizada a caracterização dos resíduos, apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Foi apresentado uma variação entre os resultados de ST dos resíduos (Tabela 3), fator de grande importância para eficiência do processo, visto que essa variação garante água suficiente para sobrevivência e desenvolvimento dos microrganismos no processo, e simultaneamente minimiza o risco de falta de oxigênio em decorrência do excesso de umidade (COSTA et al., 2015, PAREDES FILHO, 2011).

É possível observar maior concentração de SF no mexilhão dourado (89,19%) e no biossólido (79,59%). Neste primeiro resíduo, os teores de SF estão diretamente relacionados com a composição química da sua estrutura, uma vez que sua concha apresenta altos teores de CaCO_3 (WACHHOLZ et al., 2017), já em relação ao biossólido, refere-se ao tratamento baseado na adição de cal e maturação prévia, o que ocasiona redução parcial da matéria orgânica presente no material, que no processo de estabilização há a redução biológica dos sólidos voláteis e oxidação química da matéria orgânica, e durante o processo de desidratação, diminui o excesso de água do material (BARÉS, 2010; LEITE, 2015).

Tabela 3- Caracterização dos materiais utilizados no processo de compostagem

Resíduos	ST (%)	SF (%)	SV (%)	U (%)	pH	CE (mS cm ⁻¹)
Poda de árvores	42,24	4,64	95,36	57,76	6,65	1,335
Resíduos do CEASA	11,02	8,09	91,91	88,98	4,85	1,327
Biossólido	75,26	79,59	20,41	24,74	8,29	6,115
Mexilhão dourado	98,57	89,19	10,81	1,43	7,40	0,276
Resíduos	C (%)	C (kg)	N (%)	N (kg)	C/N	
Poda de árvores	52,98	33,6	1,05	0,7	50,46/1	
Resíduos do CEASA	51,06	5,6	1,75	0,2	29,18/1	
Biossólido	11,34	2,6	2,00	0,5	5,67/1	
Mexilhão dourado	6,00	0,2	2,77	0,1	2,17/1	
Total	-	42,0	-	1,4	30/1	

ST: Sólidos totais; SF: Sólidos fixos; SV: Sólidos voláteis; U: Umidade; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; C: Carbono; N: Nitrogênio; C/N: Relação carbono e nitrogênio.

Ainda na Tabela 3, é possível observar os resultados de pH e CE. O biossólido foi o material que apresentou maior pH e CE, alcalinidade explicada pela adição de cal no tratamento desse resíduo (DA COSTA et al., 2015) e alto teor de CE, devido a concentração de sais na sua composição (CONTE et al., 2017), assim, o biossólido deve ser inserido com cautela em processos de estabilização, pois pode ocasionar toxicidade dos compostos (BEUREN, 2019). Na literatura, resultados semelhantes foram observados por Santos (2014), com valor de pH de biossólido de 8,2.

No processo de compostagem, o C é fonte de energia e o N atua na síntese de proteínas para os microrganismos presentes naturalmente no processo (LOURENÇO, 2014; PEREIRA; GONÇALVES, 2011). Por isso, no início do processo de compostagem, a proporção de matérias-primas utilizadas, deve estar próxima de uma relação C/N de 30/1, pois valores muito altos podem tornar a estabilização mais lenta, retardando o processo, quanto a relação C/N muito inferiores, podem levar a perda de nitrogênio (FORMENTINI et al., 2008; COTTA et al., 2015).

Desta forma, observa-se que a relação C/N inicial do processo se encontrou de acordo com o proposto pelos autores, isso foi possível visto que as podas de árvores e restos de CEASA são materiais ricos em carbono (Tabela 3), com alta relação C/N, enquanto o biossólido e o mexilhão dourado apresentam altos teores de nitrogênio, e consequente baixa relação C/N.

De acordo com a Tabela 4, é possível observar alta concentração de cálcio nos dois resíduos avaliados, biossólido e mexilhão dourado. Em um trabalho realizado na Usina Hidrelétrica de Itaipu, os autores observaram que a concentração máxima de Ca no mexilhão

dourado encontrada foi equivalente a $148,75 \text{ g kg}^{-1}$, valor maior que o encontrado no presente trabalho Marengoni et al., (2013).

Tabela 4- Determinação de cálcio e metais pesados tóxicos nos resíduos potencialmente poluidores

Resíduos	Ca (g/kg)	Pb	Cr	Cd
	(mg/kg)			
Biossólido	75,26	79,59	20,41	24,74
Mexilhão dourado	98,57	89,19	10,81	1,43

Ca: Cálcio; Pb: Chumbo; Cr: Cromo; Cd: Cádmio.

Observa-se na Tabela 4, que as concentrações de metais pesados obtidas neste trabalho, para os dois resíduos, estão de acordo com a Resolução CONAMA 375 de 29/08/2006 (BRASIL, 2006), que define critérios para uso agrícola de lodo de esgoto, as concentrações máximas permitidas para chumbo, cromo e cádmio são, respectivamente, 300, 1000 e 39 mg kg^{-1} . O alto teor de metais pesados tóxicos encontrado no mexilhão dourado, é devido a sua capacidade de absorver esses elementos em seus tecidos e concha, assim é comumente utilizado como bioindicador aquático (ANTONIO et al., 2017; MANSUR et al., 2012; WACHHOLZ et al., 2017).

Durante o período de compostagem, não foi observado a ocorrência de mau cheiro e/ou presença de vetores. Teixeira et al., (2004) considera um indicativo, que as condições estavam adequadas para o êxito no processo, principalmente em relação aos fatores monitorados: aeração, umidade e temperatura, visto que, a compostagem é um processo aeróbio.

A temperatura média das pilhas de compostagem ficou em torno de 40 a 60 °C (Figura 13), nos primeiros 20 dias, indicando a fase de degradação do processo de compostagem, fato importante, visto que, durante a fase termofílica, varia de 40°C a 70°C, ocorre a sanitização do composto e reduz ou inibe a sobrevivência de patógenos e sementes invasoras presentes no material (NOGUERA, 2011), no entanto, valores muito superiores podem restringir a população dos microrganismos (KIEHL, 1985).

Após esse período, verificou-se decréscimo gradual da temperatura (Figura 13), a qual se estabilizou em média 20°C, por volta de 90 dias do início do processo, essa temperatura é devido a temperatura do ambiente, que apresentou no mesmo período, temperatura mínima entre 9 e 15 °C, como pode ser observado na (Figura 7). A diminuição da temperatura é relacionada com a maturação do composto, ou seja, produto gerado (KIEHL, 2002).

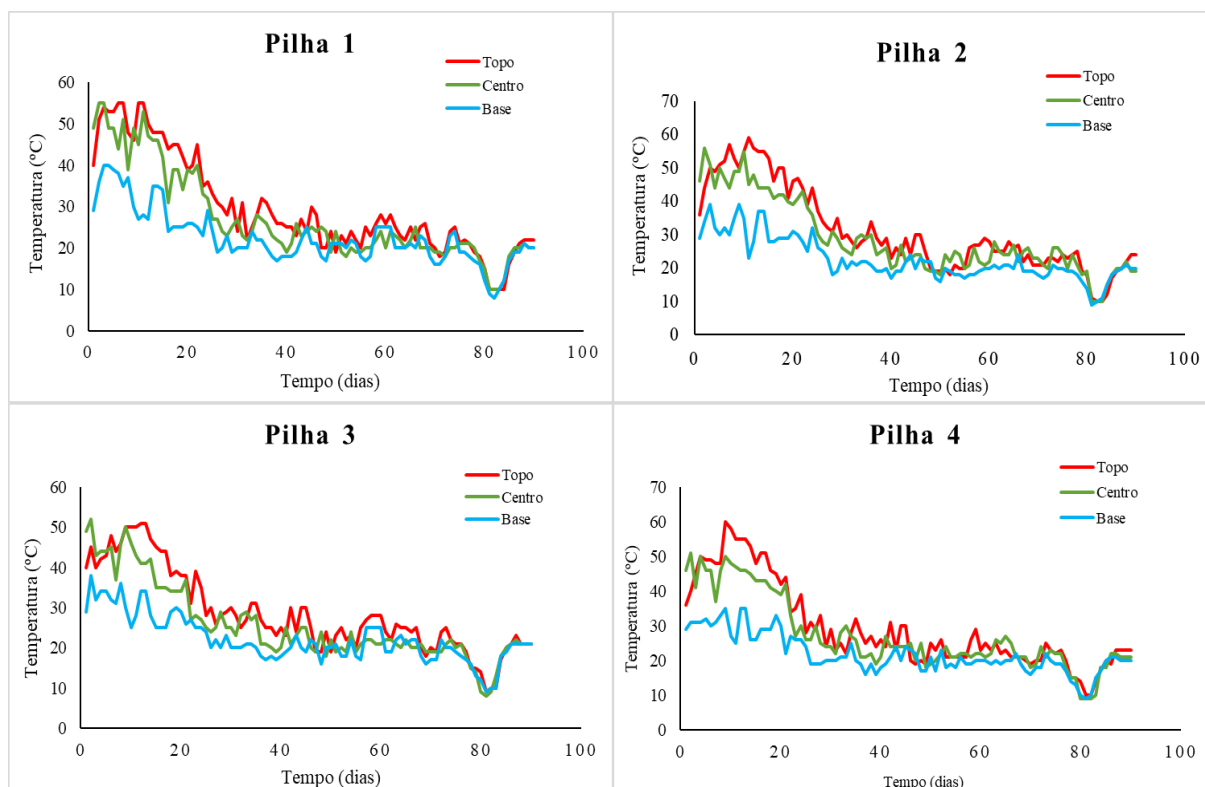


Figura 13- Progressão da temperatura das pilhas durante o processo de compostagem.

A temperatura é um importante indicativo de eficiência do processo de compostagem, pois como é uma técnica que depende da atividade microbiana (COTTA et al., 2015; VIEIRA, 2016), garantir a oxigenação adequada, influencia diretamente na atividade dos microrganismos e no controle da temperatura (CHIARELOTTO, 2018), o que é explicado pelos revolvimentos frequentes que foram realizados.

Além de que, é importante destacar que, com a aplicação dos microrganismos eficazes (E.M's) na concentração estudada nas pilhas 3 e 4, não foi possível observar uma redução do tempo da estabilização da matéria orgânica, assim todos os compostos tiveram o mesmo tempo de maturação, com ou sem a aplicação da solução dos E.M's.

Goes et al. (2017) avaliando o processo de compostagem de resíduos agroindustriais e poda de árvores, associados a utilização de microrganismos eficazes (E.M's), também não observou efeito destes na velocidade de decomposição.

No decorrer do processo de compostagem, a cada 15 dias, foram realizadas as determinações ST, SF, SV, U, pH e CE. (Tabela 5).

Tabela 5- Caracterização dos compostos orgânicos ao longo do processo de compostagem em análises quinzenais

Pilhas	Tempo (dias)	ST (%)	SF (%)	SV (%)	U (%)	pH	CE (mScm ⁻¹)
P1	15	33,22	31,70	68,30	66,78	7,78	1,617
P2		30,89	22,93	77,07	69,11	7,96	1,091
P3		34,75	38,28	61,72	65,25	8,28	1,944
P4		34,50	32,68	67,32	65,50	8,06	1,017
P1	30	31,18	28,21	71,19	68,82	8,57	1,473
P2		33,96	30,66	69,34	66,94	8,72	1,292
P3		30,60	33,73	66,27	69,40	8,51	1,471
P4		34,35	39,09	60,91	65,65	8,61	1,268
P1	45	32,15	39,21	60,79	67,85	8,29	0,823
P2		31,46	37,18	62,82	68,54	8,25	0,857
P3		30,96	34,15	65,85	69,04	8,26	0,859
P4		33,00	38,59	61,41	67,00	8,37	0,743
P1	60	32,46	33,00	67,00	67,54	8,57	0,612
P2		30,89	36,47	63,53	69,11	8,54	0,741
P3		30,99	37,31	62,69	69,01	8,62	0,660
P4		32,64	41,09	58,91	67,36	8,60	0,704
P1	75	30,49	38,96	61,04	69,51	8,51	0,621
P2		31,92	38,00	62,00	68,08	8,44	0,743
P3		28,81	33,60	66,40	71,19	8,62	0,783
P4		31,19	40,06	59,94	68,81	8,64	0,556
P1	90	28,97	37,48	62,52	71,03	8,40	0,641
P2		30,47	44,15	55,85	69,53	8,30	0,823
P3		29,18	38,96	61,04	70,82	8,40	0,905
P4		30,74	43,38	56,62	69,26	8,40	0,691

P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. ST: Sólidos totais; SF: Sólidos fixos; SV: Sólidos voláteis; U: Umidade; pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica.

Na Tabela 5, foram realizadas determinações periódicas referentes aos ST, SF, SV. Pode ser observado no presente estudo, que apesar das variações, houve a diminuição de SV e consequente aumento na taxa de SF ao longo do tempo, das pilhas de compostagem. Na determinação dos sólidos, é possível estimar a degradação dos resíduos durante o processo de compostagem, a porcentagem de SV tende a diminuir, e consequentemente, a porcentagem de SF a aumentar (QUEIROZ, 2007).

Pode-se notar a alta presença de água nas pilhas, fator que pode ser relacionado com a composição dos materiais constituintes e as irrigações realizadas periodicamente. Kiehl, (2004); Vich et al., (2017) ressaltam que a umidade, é um fator de extrema importância no processo de compostagem, pois atua nas atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos e promove o transporte de nutrientes.

A faixa de umidade ideal para a compostagem varia entre 50 e 60% (VALENTE et al., 2009) ou entre 40 e 70% (KIEHL, 1985) para que o processo ocorra em boas condições. Neste trabalho durante o processo, encontraram-se resultados de 65 a 71% de U (Tabela 5).

A faixa de pH ideal para compostagem é entre 4,5 e 9,5. Verificou-se que não houve registro de valores ácidos, na compostagem. No início do processo, os valores tendem a serem mais ácidos, tornando-se alcalino ao decorrer do tempo, como descrito por Kiehl (1985) e Pereira Neto (2007). Pedrosa et al. (2013) observou valores de pH na faixa de 9,0 a 10,0 durante todo o processo de compostagem de resíduos agroindustriais, situação explicada por meio do pH alcalino da matéria prima utilizada para construção das pilhas, uma vez que o pH da compostagem depende também de seus resíduos estruturantes.

O pH de todos os compostos produzidos seguem o estabelecido pelo MAPA na IN n° 25 de 2009 (BRASIL, 2009), que impõe pH mínimo de 6,0 para fertilizantes orgânicos de classe D. A condutividade elétrica, por sua vez, é indicativa dos níveis de fitotoxicidade do composto, sendo que o recomendado para esse parâmetro é que não ultrapasse o limite de 4 mScm⁻¹ (MASSUKADO; SCHALCH, 2010). Os resultados deste trabalho estão nos limites recomendados na literatura, de 4 mS cm⁻¹.

Ao final dos 90 dias do processo de compostagem foram realizadas as determinações de C, N, relação C/N, metais pesados tóxicos, e os teores de macro e micronutrientes, como observados na Tabela 6.

Tabela 6- Determinação da relação C/N, cálcio, metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes dos compostos orgânicos finais aos 90 dias do processo de compostagem

Pilhas	C (%)		N (%)		C/N		Pb (mg/kg)		
P1	34,73		2,29		15/1		124,72		
P2	31,03		2,36		13/1		80,27		
P3	33,91		2,33		15/1		50,82		
P4	31,46		2,29		14/1		89,64		
Pilhas	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)			
P1	22,90	1,60	4,33	40,61	1,84	396,00	30187,50	486,00	1055,25
P2	23,60	1,63	5,77	51,54	1,93	342,75	29407,50	492,00	981,00
P3	23,30	1,88	6,70	50,34	2,29	408,00	28215,00	478,50	1150,50
P4	22,90	1,50	4,73	51,40	1,85	336,75	31597,50	512,25	1008,75

P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. C: Carbono; N: Nitrogênio; C/N: Relação carbono e nitrogênio; Pb: Chumbo. N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco.

A relação C/N final da compostagem é mais baixa em relação a inicial, uma vez que há perda de carbono na forma de CO₂, em decorrência da degradação da matéria orgânica (VIEIRA, 2016).

A Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009, do MAPA (BRASIL, 2009), estabelece o limite de relação C/N máxima de 20/1 para fertilizantes orgânicos de Classe D. Desta forma, os valores obtidos para os compostos produzidos encontram-se dentro do permitido.

Na Tabela 6, pode-se verificar ainda, a concentração dos metais pesados tóxicos, que estão relacionados com a presença desses elementos nos resíduos constituintes das pilhas de compostagem. É importante ressaltar que o biossólido e o mexilhão dourado já apresentavam altos teores dos metais, principalmente o Pb, este último continua presente nos compostos produzidos.

Entretanto, apesar de o mexilhão dourado apresentar concentração maior dos dois elementos citados, o uso desse material não ocasionou aumento na concentração dos parâmetros. Quanto ao Cd e Cr, não foi mais encontrado nos compostos finais, demonstrando a importância da compostagem no processo de remediação de resíduos contaminantes, com alto potencial poluidor. Os valores encontrados para os elementos em questão estão dentro do estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 375 de 29 de agosto de 2006 (BRASIL, 2006).

Em relação a concentração de macro e micronutrientes estudados, é possível observar maiores concentrações de nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Já em relação aos micronutrientes, o ferro (Fe) e o zinco (Zn) foram os que apresentaram maiores concentrações (Tabela 6).

O processo de compostagem, tem propriedade de retenção dos nutrientes dos resíduos iniciais utilizados na montagem das pilhas, dentro da massa microbiana (CANELLAS; SANTOS, 2005), assim está relacionado a utilização do biossólido e mexilhão dourado, resíduos que apresentam altos teores de N, e consequente baixa relação C/N, e altos teores de Ca, de acordo com a Tabela 5 e Tabela 6. Segundo Jusoh, Manaf e Latiff (2013), o uso de E.M's na compostagem, podem proporcionar maiores concentrações de macro e micronutrientes, o que não foi observado neste trabalho.

Ao final dos 90 dias (Figura 14), pode-se observar os compostos maturados, devido a observação das características de homogeneidade e uniformidade, principalmente a coloração escura e a presença de odor de terra, de acordo com o recomendado por (OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008).



Figura 14- Aspecto dos compostos ao final do processo de compostagem.

Observa-se, na Tabela 7, que a redução (%) da massa em kg das pilhas de compostagem em relação a inicial foi menor que 50%, resultados interessantes, sobre o aspecto prático, de reduzir o espaço necessário para a disposição e gerenciamento dos resíduos e sobre aspectos agrônômicos, da redução das perdas da produção do composto final, assim gerando uma grande quantidade de produto, ao final do processo de compostagem.

Tabela 7- Peso final e porcentagem de redução em relação ao peso inicial das pilhas de compostagem

Pilhas	Peso final (kg)	Redução (%)
P1	155,00	34,00
P2	170,00	40,00
P3	158,00	33,00
P4	174,00	39,00

P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

Na Tabela 8, são apresentadas as variáveis quanto a % de germinação, índice de germinação (IG) e comprimento médio das radículas. Constatou-se que houve efeito ($p < 0,05$)

apenas para a variável tamanho da radícula (Tabela 8). No entanto, a determinação do índice de germinação, é importante e necessário indicativo da presença de compostos fitotóxicos nos produtos gerados, antes de utilizá-los como substratos ou na nutrição de plantas (TAVARES et al., 2019).

Tabela 8- Determinação das variáveis % de germinação, índice de germinação e tamanho da radícula das plântulas de alface submetidas ao teste de fitotoxicidade

Pilhas	Germinação (%)	IG (%)	Tamanho radícula (cm)
P1	95,72	189,15	0,95 b
P2	101,59	269,02	1,41 a
P3	100,27	230,87	1,22 ab
P4	103,17	180,17	0,94 b
Controle	100,00	100,00	0,58 c
C.V (%)	18,02	52,63	16,29
D.M.S	39,44	222,91	0,36
F calculado	0,95 ^{n.s.}	1,54 ^{n.s.}	14,45**

P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's); Controle: Testemunha (água destilada); resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. IG: Índice de germinação; CV= coeficiente de variação; DMS: diferenças mínimas significativas. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. ** Significativo a 1% pelo teste F; n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

Neste trabalho, todos os tratamentos utilizados apresentaram IG acima de 55%, indicativo de não-toxicidade às sementes de alface (TEIXEIRA et al., 2016), como também, todos os compostos estudados obtiveram médias superiores à do controle, ou seja, a presença do mexilhão dourado e/ou a aplicação da solução de microrganismos eficazes, não impediram a germinação das sementes de alface. Resultado semelhante foi obtido por Paixão Filho et al. (2008), com o uso de efluente sanitário de filtro anaeróbio não apresentou fitotoxicidade, e com o aumento das concentrações de efluente, não diminuiu IG das sementes de alface.

Zucconi et al. (1981), cita que IG abaixo de 50%, podem indicar a presença de metais pesados, elementos inorgânicos, orgânicos e sais solúveis, que são produzidos pelo manejo inadequado do processo de compostagem, como exemplo a anaerobiose. Também pode-se notar que, como todos os tratamentos apresentaram IG acima do controle, significa que os compostos estimularam o desenvolvimento das radículas. Os compostos avaliados não apresentaram toxicidade, aos 25 dias do processo de compostagem, assim, deu início ao processo de vermicompostagem.

3.3.2 Processo de Vermicompostagem

Os vermicompostos foram caracterizados ao longo do processo de vermicompostagem e ao final após 60 dias, detalhados nos tópicos 3.2.1 e 3.2.2, respectivamente.

No decorrer do processo, quinzenalmente, foi realizada a caracterização dos vermicompostos (Figuras 15,16 e 17).

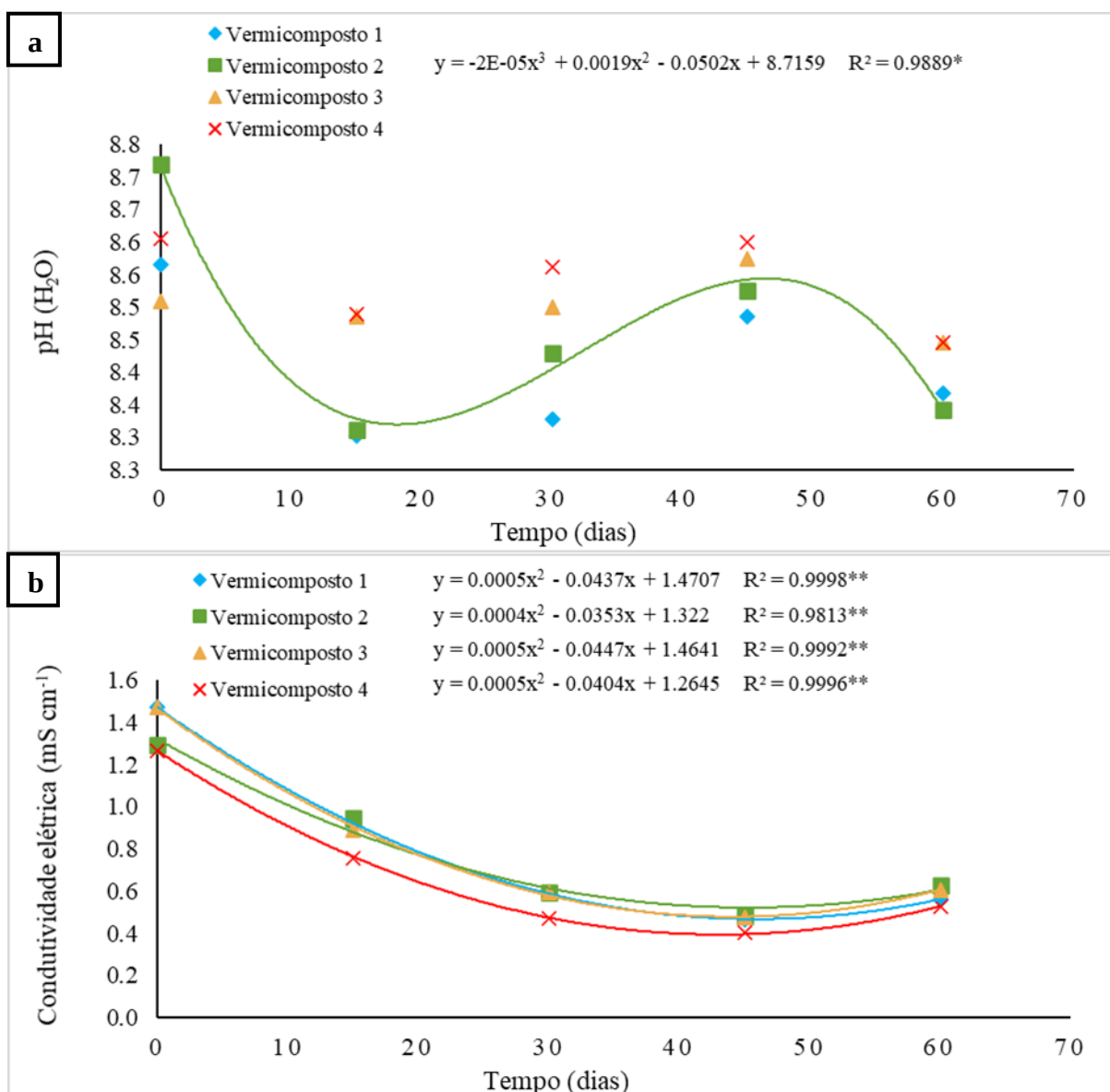


Figura 15- Valores de pH em água (a) e condutividade elétrica (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.

Vermicomposto 1 (V1): material pré-estabilizado obtido da pilha 1; Vermicomposto 2 (V2): material pré-estabilizado obtido da pilha 2; Vermicomposto 3 (V3): material pré-estabilizado obtido da pilha 3; Vermicomposto 4 (V4): material pré-estabilizado obtido da pilha 4. Material pré-estabilizado: amostras dos compostos das pilhas retirado aos 30 dias do processo de compostagem. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + bio sólido. * Significativo a 5% pelo teste F; ** Significativo a 1% pelo teste F.

Observou-se interação significativa ($p < 0,05$), entre os vermicompostos e o tempo de análise para os valores de pH e condutividade elétrica (CE) (Figura 15).

O comportamento foi cúbico apenas para o vermicomposto 2 (V2) (Figura 15a) e quadrático decrescente para os vermicompostos (V1, V2, V3, V4) (Figura 15b), respectivamente. O vermicomposto V2 apresentou maiores médias de pH (dia 0= 8,7 e o dia 60= 8,3). Já para CE, as maiores médias foram observadas nos vermicompostos V1 e V3 (dia 0= 1,5 mS cm⁻¹) e menor média no vermicomposto V4 (dia 60= 0,5 mS cm⁻¹).

É possível analisar, de acordo com a Figura 15a, que os valores de pH, apresentaram valores mais alcalinos, que pode ser justificado, pela utilização do biossólido na composição dos vermicompostos, devido a adição de cal no tratamento desse resíduo (DA COSTA et al., 2015). Segundo Kiehl (1985), o composto estabilizado apresenta um pH mais próximo à neutralidade ou alcalinidade. Segundo a IN nº25 (BRASIL, 2009) o valor mínimo de pH é de 6,0, que foram observados neste trabalho, resultados semelhantes foram encontrados por Cotta et al. (2015).

Além disso, os valores de CE se encontram de acordo com o recomendado por Kiehl (1998), pois estão na faixa entre 0,5 e 0,8 mS cm⁻¹ e não excedem o limite de 4 mS cm⁻¹, o que representa a não fitotoxicidade dos vermicompostos (Figura 15b).

Observou-se interação significativa ($p < 0,05$), entre os vermicompostos e o tempo de análise para os valores de sólidos totais (ST) e umidade (U) (Figura 16).

O comportamento foi linear decrescente apenas para o vermicomposto 4 (V4) (Figura 16a) e linear crescente para os vermicompostos (V1, V2, V3, V4) (Figura 16b). O vermicomposto V4 apresentou maiores médias de ST (dia 0=34,3%), e o vermicomposto V3, apresentou as menores médias no dia 60= 27,4%. Já para U, a maior média observada foi no vermicomposto V3 (dia 60= 72,6%) e menor média no vermicomposto V4 (dia 0= 65,7%).

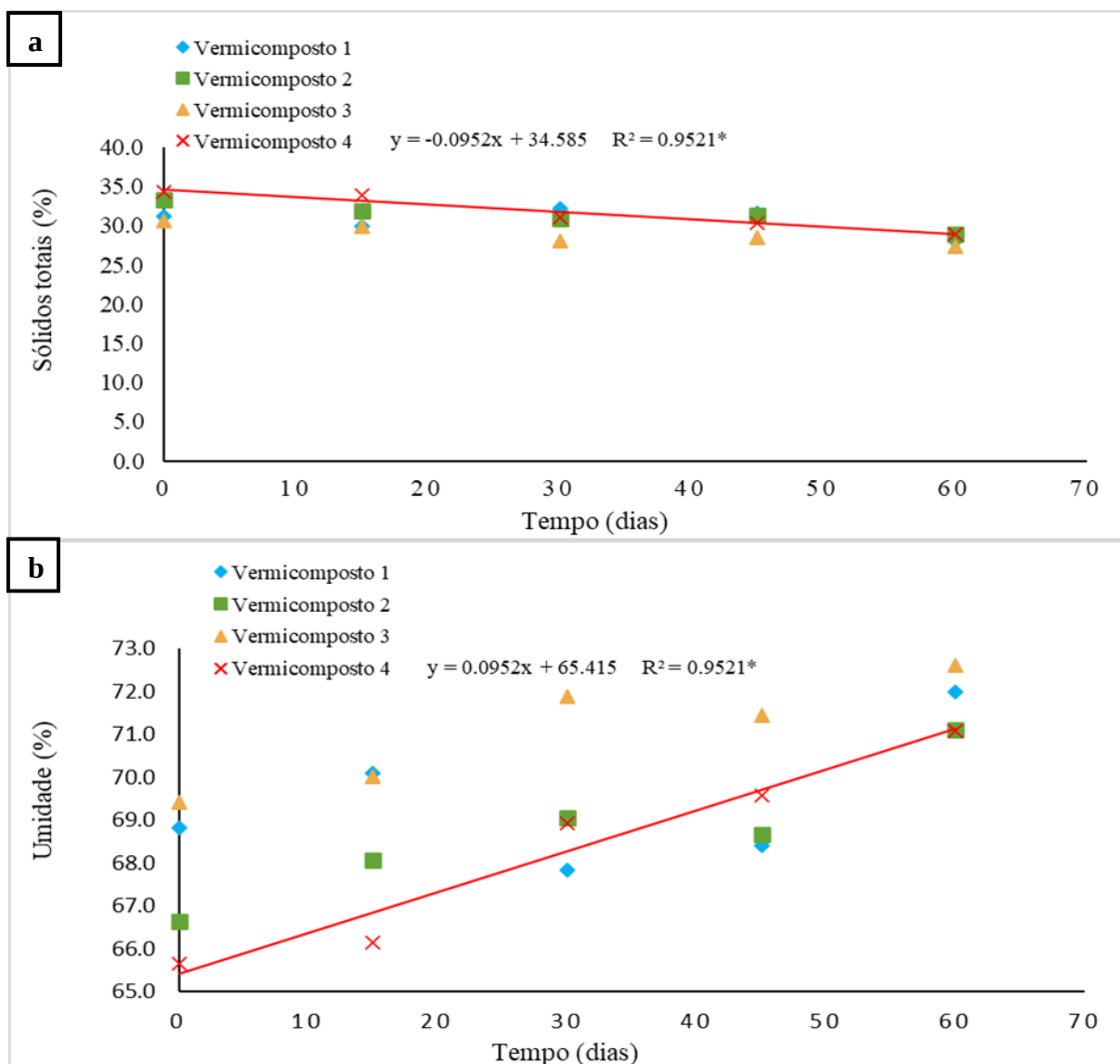


Figura 16- Sólidos totais (a) e umidade (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.

Vermicomposto 1 (V1): material pré-estabilizado obtido da pilha 1; Vermicomposto 2 (V2): material pré-estabilizado obtido da pilha 2; Vermicomposto 3 (V3): material pré-estabilizado obtido da pilha 3; Vermicomposto 4 (V4): material pré-estabilizado obtido da pilha 4. Material pré-estabilizado: amostras dos compostos das pilhas retirado aos 30 dias do processo de compostagem. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. *Significativo a 5% pelo teste F.

Em relação aos valores de ST obtidos, apresentaram uma tendência de diminuição ao longo da vermicompostagem (Figura 16). Em geral, os valores de ST sofrem influência direta da umidade, devido as condições naturais e reais que foi realizado o experimento (PIGATIN et al., 2015).

A IN nº 25, de 25 de julho de 2009, do MAPA, (BRASIL, 2009) propõe umidade máxima de 50% para vermicompostos. Os resultados observados, foram valores acima do recomendado, ocorrência devido aos vermicompostos ainda estarem frescos, fator relacionado

com a composição dos materiais constituintes e as irrigações realizadas periodicamente. A umidade, é um fator de extrema importância, pois atua nas atividades metabólicas e fisiológicas dos microrganismos e promove o transporte de nutrientes (VICH et al., 2017) (Figura 16).

A U durante o processo de vermicompostagem, deve estar entre 75 e 90% (Dal Bosco et al., 2017), pois valores muito inferiores podem levar à morte por asfixia, e o oposto, pode gerar zonas de anaerobiose que limitam o fornecimento de oxigênio para as minhocas, que realizam respiração cutânea (LOURENÇO, 2014). Mesmo não apresentando valores sugeridos pelo autor, não foi observado efeitos danosos às minhocas.

Entretanto, para uso seguro dos vermicompostos finais, é possível fazer a correção da umidade por meio de secagem natural. Cotta et al. (2015) alcançaram resultados semelhantes, U entre 71,92 e 76,96%, no processo de compostagem e vermicompostagem utilizando resíduos sólidos vegetais, esterco bovino e serragem. Já Silva et al. (2011) trabalhando com vermicompostagem utilizando lodo de esgoto em diferentes proporções, obtiveram porcentagens de umidade entre 25,22 e 50%.

É possível observar valores de sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) dos vermicompostos (Figura 17). Os vermicompostos estudados não apresentaram significância ($p < 0,05$), das características ao longo do tempo, neste caso, nenhum modelo se ajustou aos pontos. No entanto, os valores médios de SF obtidos dos vermicompostos V1, V2, V3 e V4 no dia 60 foram: 39,2%; 41,5%; 37,2% e 43,0%, respectivamente e SV (dia 60= 60,8; 58,5%; 62,8% e 57,0%) para os vermicompostos V1, V2, V3 e V4.

É possível observar com esses resultados (Figura 17) que, não houve muitas alterações nos valores ao longo da vermicompostagem, no entanto, a concentração de sólidos voláteis tende a diminuir e os sólidos fixos tendem a aumentar ao decorrer do processo, indicativo da ocorrência da degradação da matéria orgânica, como descrito por Boina (2018).

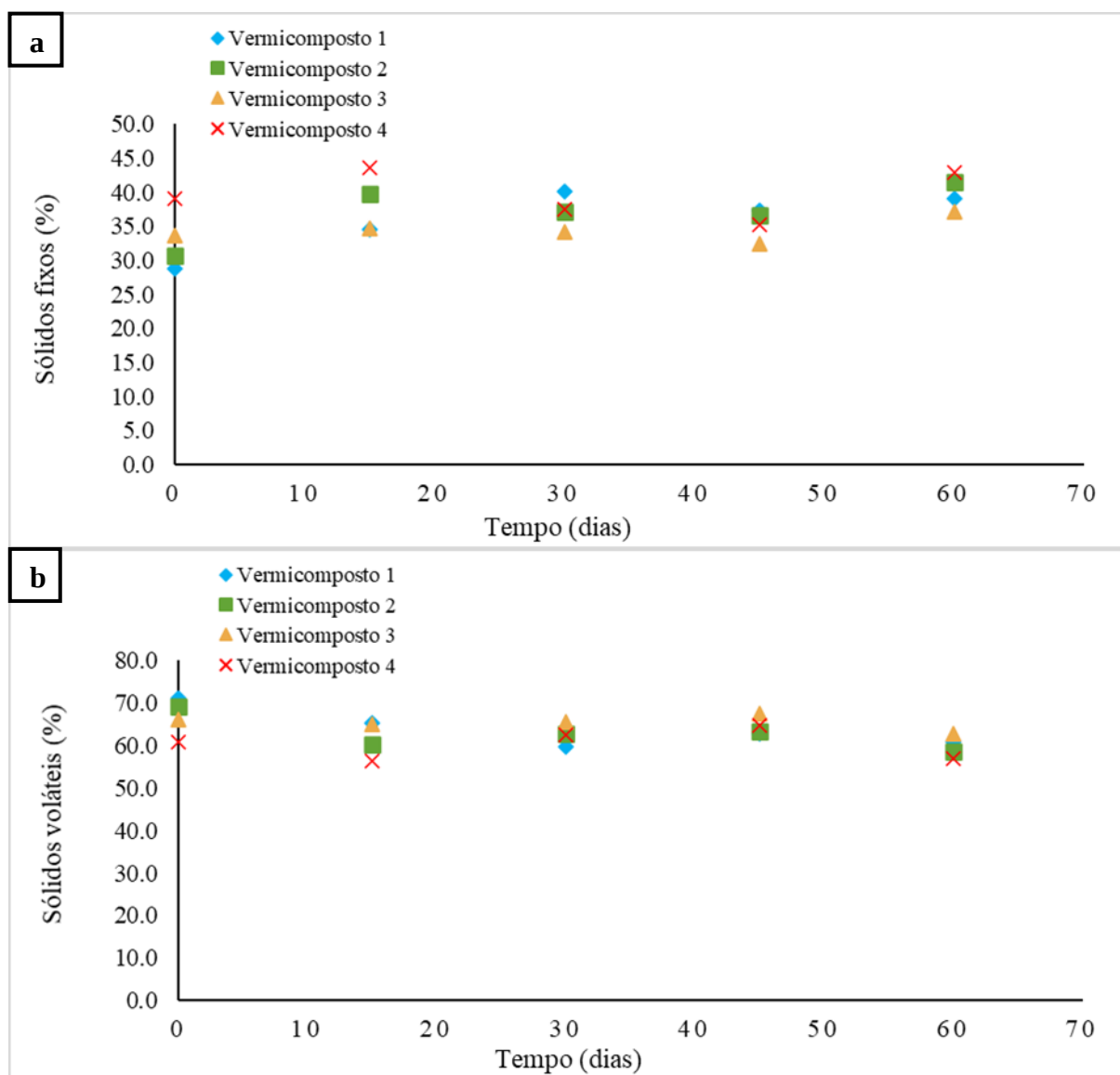


Figura 17- Sólidos fixos (a) e sólidos voláteis (b) dos vermicompostos ao longo do processo de vermicompostagem.

Vermicomposto 1 (V1): material pré-estabilizado obtido da pilha 1; Vermicomposto 2 (V2): material pré-estabilizado obtido da pilha 2; Vermicomposto 3 (V3): material pré-estabilizado obtido da pilha 3; Vermicomposto 4 (V4): material pré-estabilizado obtido da pilha 4. Material pré-estabilizado: amostras dos compostos das pilhas retirado aos 30 dias do processo de compostagem. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

Ao final do processo de vermicompostagem, aos 60 dias, foi realizado a contagem do número de minhocas cliteladas, não-cliteladas e quantidade de ovos (Tabela 9). Constatou-se que houve efeito ($p < 0,05$) para: nº de minhocas não-cliteladas e nº médio de ovos.

Tabela 9- Número médio de minhocas cliteladas, não-cliteladas e ovos nos vermicompostos finais aos 60 dias do processo de vermicompostagem

Vermicompostos	Cliteladas	Não-cliteladas	Ovos
V1	14	135 c	91 ab
V2	14	176 b	98 a
V3	14	124 c	61 b
V4	14	223 a	101 a
C.V (%)	5,11	10,28	18,72
D.M.S	0,00	31,76	30,95
F calculado	0,00 ^{n.s.}	35,01**	6,11**

V1: Material pré-estabilizado obtido da pilha 1; V2: Material pré-estabilizado obtido da pilha 2; V3: Material pré-estabilizado obtido da pilha 3; V4: Material pré-estabilizado obtido da pilha 4. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. Cliteladas: número de minhocas com a presença da estrutura reprodutiva (clitelo). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. ** Significativo a 1% pelo teste F; n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

É possível observar que, em relação as minhocas não-cliteladas (minhocas jovens) o vermicomposto V4 apresentou média superior (233) aos demais vermicompostos. Em relação ao número inicial colocado nos vermireatores, (15 minhocas cliteladas/1kg de sólidos totais), houve um aumento de 197,3%.

Já em relação aos ovos, o vermicomposto V2 e V4, foram superiores ao vermicomposto V3, ou seja, o composto pré-estabilizado estava ideal para as minhocas, de acordo com os fatores que afetam o processo de vermicompostagem, descrito por Lourenço (2010), pois, proporcionou melhores condições para a reprodução das minhocas.

É importante destacar, que aos 50 dias do início do processo de vermicompostagem, a temperatura do ambiente, estava abaixo de 2 °C (Figura 7a), e apesar disso as minhocas sobreviveram, visto que a espécie de minhoca *E. foetida*, apresenta características de taxa de reprodução rápida, alta produção de vermicomposto e fácil adaptação em diferentes ambientes (AQUINO; NOGUEIRA, 2001).

Na Tabela 10, é possível observar a relação C/N, a concentração de metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes dos vermicompostos finais.

Constatou-se que houve efeito ($p < 0,05$) apenas para o carbono (%), o vermicomposto V3 foi superior aos demais vermicompostos. É importante destacar, que foi observado, uma redução na relação C/N final em todos os tratamentos, e valores de acordo com a IN nº 25 de 23/07/2009 (BRASIL, 2009), exceto V3, que propõe valor máximo de 14/1 para a relação C/N de vermicompostos.

Tabela 10- Determinação da relação C/N, cálcio, metais pesados tóxicos e macro e micronutrientes dos vermicompostos finais aos 60 dias do processo de vermicompostagem

Vermicompostos	C	N	C/N	Pb	
	(%)	(%)		(mg/kg)	
V1	33,80 ab	2,25	14/1	61,2	
V2	32,50 b	2,27	14/1	45,0	
V3	34,87 a	2,15	15/1	33,0	
V4	31,68 b	2,00	14/1	71,7	
C.V (%)	3,80	9,49	9,33	44,79	
D.M.S	2,37	0,43	2,45	44,34	
F calculado	6,26**	0,54 ^{n.s.}	0,52 ^{n.s.}	2,63 ^{n.s.}	
Vermicompostos	N	P	K	Ca	Mg
	(g kg ⁻¹)				
V1	22,50	1,74	2,47	29,93	3,05
V2	22,70	1,54	2,77	32,89	2,78
V3	21,50	1,86	2,66	32,03	3,46
V4	20,00	1,51	1,72	36,44	2,79
C.V (%)	9,49	13,35	43,92	10,00	12,08
D.M.S	0,43	0,42	1,98	6,16	0,68
F calculado	0,54 ^{n.s.}	2,73 ^{n.s.}	1,00 ^{n.s.}	3,42 ^{n.s.}	3,83 ^{n.s.}
Vermicompostos	Cu	Fe	Mn	Zn	
	(mg kg ⁻¹)				
V1	401,10	28142,25	503,70	1257,75	
V2	364,05	27099,75	381,90	1026,30	
V3	418,20	28197,00	434,40	1187,25	
V4	372,60	27228,75	391,05	1140,90	
C.V (%)	15,53	10,18	20,45	18,18	
D.M.S	113,49	5289,51	164,32	393,76	
F calculado	0,86 ^{n.s.}	0,21 ^{n.s.}	2,02 ^{n.s.}	1,08 ^{n.s.}	

V1: Material pré-estabilizado obtido da pilha 1; V2: Material pré-estabilizado obtido da pilha 2 ; V3: Material pré-estabilizado obtido da pilha 3; V4: Material pré-estabilizado obtido da pilha 4. P1: Pilha 1 (resíduos urbanos); P2: Pilha 2 (resíduos urbanos + mexilhão dourado); P3: Pilha 3 (resíduos urbanos + E.M's); P4: Pilha 4 (resíduos urbanos + mexilhão + E.M's). Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. C: Carbono; N: Nitrogênio; C/N: Relação carbono e nitrogênio; Pb: Chumbo. N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. ** Significativo a 1% pelo teste F; n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

Quanto à quantidade de metais pesados nos vermicompostos ao final do processo, as concentrações obtidas se encontram de acordo com a resolução CONAMA Nº 420 de 28 de dezembro de 2009 (BRASIL, 2009), que estabelece valores orientadores para presença de substâncias químicas em solos do Brasil, para também evitar a contaminação em ambiente agrícola. Esta legislação permite valores máximos de 180 mg kg⁻¹ de Pb, 150 mg kg⁻¹ de Cr e 3 mg kg⁻¹ de Cd para solos brasileiros, o que possibilita a utilização dos vermicompostos produzidos para fins agrícolas, quanto às características citadas. Godoy et al. (2009),

trabalhando com vermicompostagem de biossólido, serragem e grama também obtiveram valores considerados baixos de metais pesados.

Para Azizi et al. (2013), a concentração de metais pesados em vermicomposto, utilizando lodo de esgoto, está relacionada ao tempo de estabilização dos compostos. A excreção dos metais pesados pelas minhocas, pode ocasionar o aumento da sua concentração no vermicomposto, o que não ocorreu neste estudo, ao contrário, o teor médio de Pb no final da compostagem era de 86,36 (mg kg^{-1}) e após a vermicompostagem o teor reduziu para 53,29 (mg kg^{-1}), ou seja, uma redução de 62%. Embora não tenha ocorrido diferença estatística entre os tratamentos a vermicompostagem reduziu a concentração de Pb no produto, além da ausência dos metais cromo (Cr) e cádmio (Cd), após a compostagem e vermicompostagem.

Já em relação a concentração de macro e micronutrientes estudados, é possível observar maiores concentrações de nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Já em relação aos micronutrientes, o ferro (Fe) e o zinco (Zn) foram os que apresentaram maiores concentrações (Tabela 10).

A concentração média de N no final da compostagem era de ($23,21 \text{ g kg}^{-1}$) e após a vermicompostagem a concentração reduziu para ($21,68 \text{ g kg}^{-1}$), uma redução de 7%. Quanto ao Ca, a presença do mexilhão dourado não influenciou na maior concentração deste, no final da compostagem era de ($48,47 \text{ g kg}^{-1}$) e após a vermicompostagem a concentração reduziu para ($32,82 \text{ g kg}^{-1}$), uma redução de 32%. Embora, apresentado uma redução destes elementos nos vermicompostos, ainda apresentaram uma alta concentração (Tabela 10), visto a importância dos nutrientes para as plantas, pois influenciam nas características anatômicas e fisiológicas, além de proporcionar maior crescimento do sistema radicular (BAYERLE et al., 2017). Os teores dos nutrientes encontraram-se nos limites estabelecidos pela IN nº 25, de 25 de julho de 2009, do MAPA, (BRASIL, 2009).

3.4 CONCLUSÕES

A presença do mexilhão dourado, não aumentou a concentração de cálcio aos vermicompostos finais, e como fonte orgânica com alto potencial poluidor, não apresentou toxicidade aos compostos estudados.

O uso de microrganismos eficazes (E. M's), na proporção estudada, não reduziu o tempo do processo de estabilização dos resíduos orgânicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. **Pesquisa de dados meteorológicos para o estado do PR**. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PR>> Acesso em: 10 set. 2020.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; = SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ANDRADE, F. D.; BONFIM, F.; HONÓRIO, I.; REIS, I.; PEREIRA, A. D. J.; SOUZA, D. D. B. **Caderno dos microrganismos eficientes (EM): instruções práticas sobre o uso ecológico e social do EM**. 2. Ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- ANTONIO, L. L. C. P. S.; CAPILÉ, H. E.; DUARTE, R. Mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*) como bioindicador aquático. **Pesquisa & Educação a Distância**, n. 8, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18 ed. Gaithersburg, M.D: AOAC, 2005. 3000p.
- AQUINO, A. M.; NOGUEIRA, E. M. Fatores limitantes da vermicompostagem de esterco suíno e de aves e influência da densidade populacional das minhocas na sua reprodução. **Seropédica: ch Agrobiologia**, 2001. 10 p. (Documentos EMBRAPA; 147).
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC International**. 18 ed., v.2, Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- AZIZI, A. B.; LIM, M. P. M.; NOOR, Z. M.; ABDULLAH, N. Vermiremoval of heavy metal in sewage sludge by utilising *Lumbricus rubellus*. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 90, p. 13-20, 2013.
- BAYERLE, D.F.; NUNES, R.V.; GONÇALVES JR., A.C.; WACHHOLZ, L.; SCHERER, C.; SILVA, I.M.; OLIVEIRA-BRUZEL, T.M.; VARGAR JR., J.G. Golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in feed for broiler chicks using tannin as a sequestrant of toxic metals. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 843-854, 2017.
- BARÉS, M, E. **Digestão e higienização de lodo de estação de tratamento de esgotos através do processo bifásico com pré-tratamento térmico**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambientais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- BEUREN, F. **Utilização de diferentes tipos de resíduos agroindustriais como substrato na compostagem de biossólido industrial**. 2019. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Santa Cruz do Sul, 2019.
- BOINA, W. L. O. **Aceleração do processo de compostagem de lodos gerados em reatores UASB com inóculo comercial**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos/SP, 2018.

BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 375**, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF. Ministério do Meio Ambiente.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução normativa nº 25**, de 23 de julho de 2009. Normas sobre as especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jul.2009.Seção 1.

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

CANELLAS, LP SANTOS; HUMOSFERA, G. A. **Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. Campos dos goytacases, 309 p., 2005.

CARNEIRO, L. J; COSTA, M. S. D. M.; COSTA, L. A. D. M.; MARTINS, M. F.; ROZATTI, M. A. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 796-807, 2013.

CESTONARO, T.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PEREIRA, D. C.; MARTINS, M. F. L. Vermicompostagem de cama de ovinos em mistura com dejetos de bovino de corte: aspectos da estabilização do resíduo. In: X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA, 2012 e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, p.1-4, 2012, Londrina. **Anais do X Congresso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola – CLIA, 2012 e XLI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA**. Londrina, 2012.

CHIARELOTTO, M. **Redução do tempo de compostagem de resíduos agroindustriais: efeito nos parâmetros de controle e na qualidade do composto final**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, T. C. F.; XIMENES, A. F.; BELTRAME, L. T. C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama**, p. 246-260, 2015.

COTTA, J. A. O.; CARVALHO, N. L. C.; BRUM, T. S.; REZENDE, M. O. O. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 65-78, 2015.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DA COSTA, A. N.; DA COSTA, A. F. S.; CAETANO, L. C. S. **Aspectos químicos e físicos da disposição do lodo de ETE no solo**. p.32-35, 2015. Disponível em: <cap4lodoesgoto.pdf (incaper.es.gov.br)>. Acesso em: 26 mai. 2021.

DORES-SILVA, P. R.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. Processo de estabilização de resíduos orgânicos: vermicompostagem versus compostagem. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

FORMENTINI, E. A.; LÓSS, F. L.; BAYERL, M. P.; LOVATI, R. D.; BAPTISTI, E. **Cartilha sobre adubação verde e compostagem**. Vitória, 2008.

GODOY, J. R. R.; MEDEIROS, C. M.; SANTANA, G. P. Vermicompostagem de biossólido obtido de fossas sanitárias, grama e pó de serragem utilizando *Eisenia foetida* (Savigny, 1826). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n.5, p. 648-653, set/out, 2009.

GOES, H. H. D.; OLIVEIRA, B. A. M.; MELO, J. M.; SOUZA, R. C. P.; MARQUES, V. C.; OLIVEIRA, W. L.; DAL BOSCO, T. C. Compostagem de resíduo agroindustrial e poda de árvore com aplicação de microrganismos eficientes. In: **Fórum Internacional de Resíduos Sólidos – Anais**, 2017.

GOOGLE EARTH. Google Earth Versão 7.3.1. 2018. **Coordenadas geográficas**. Acesso em: 16 jan. 2020.

ILANI, T.; HERRMANN, I.; KARNIELI, A.; ARYE, G. Characterization of the biosolids composting process by hyperspectral analysis. **Waste Management**. Sede Boker Campus, Israel. v. 48, p. 106- 114. 2016.

JUSOH, M. L. C.; ABD MANAF, L.; LATIFF, P. A. Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. **Iranian journal of environmental health science & engineering**, v. 10, n. 1, p. 1-9, 2013.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1985. p. 492.

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

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem**. Piracicaba: Editora Ceres, 1998.

KIEHL, E.J. Manual de compostagem maturação e qualidade do composto. São Paulo: **Agronômica Ceres**, 2002. 171p. União Brasileira de Avicultura, RELATÓRIO ANUAL 2007/2008. 2007. 80p.

LEITE, T. A. **Compostagem termofílica de lodo de esgoto: Higienização e produção de biossólido para uso agrícola**. 2015. Dissertação (Mestrado em ciências) - Universidade de São Paulo, SP, Brasil, 2015.

LOURENÇO, N. M. G. **Características da minhoca Epígea *Eisenia Foetida* – benefícios, características e mais-valias ambientais decorrentes da sua utilização**. Lisboa-Portugal, 2010, 5p.

LOURENÇO, N. M. G. **Manual de Vermicompostagem e Vermicultura para a Agricultura Orgânica**. Agrobok, 2014.

MANSUR, M. C. D.; SANTOS, C. P.; PEREIRA, D.; PAZ, I. C. P.; ZURITA, M. L. L.; RODRIGUEZ, M. T. R.; NEHRKE, M. V.; BERGONCI, P. E. A. **Moluscos Límnico: Invasores no Brasil**. Porto Alegre: Redes Editora, 2012.

MANTOVANI, J. R.; CRUZ, M. C. P.; FERREIRA, M. E.; BARBOSA, J. C. Comparação de procedimento de quantificação de nitrato. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.1, p. 53-59, 2005.

MARENGONI, N. G.; KLOSOWSKI, E. S.; OLIVEIRA, K. D.; CHAMBO, A. P. S.; GONÇALVES JUNIOR, A. C. Bioacumulação de metais pesados e nutrientes no mexilhão dourado do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu Binacional. **Química Nova**, v. 36, n. 3, p.359 - 363, 2013.

MASSUKADO, L. M.; SCHALCH, V. Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. **Revista DAE**, v. 58, p. 9-15, 2010.

NASIRU, A.; ISMAIL, N.; IBRAHIM, M. H. Vermicomposting: tool for sustainable ruminant manure management. **Journal Waste Management**, v. 2013, 2013.

NOGUERA, J. O.C. Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**. V.3, n. 3, p. 316 –325, 2011.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Piracicaba–São Paulo, p. 19, 2008.

PAIXÃO FILHO, J. L.; PIRES, M. S. G.; GABRIELLI, G. Avaliação da toxicidade de efluentes sanitário de filtro anaeróbio com sementes de alface (*Lactuca Sativa*) para reuso agrícola. In: **XVII Congresso interno de iniciação científica**, Faculdade de Tecnologia, Campinas, UNICAMP, 2008.

PAREDES FILHO, M. V. P. Compostagem de lodo de esgoto para uso agrícola. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 3, 2011.

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. Pesquisas Agrárias e Ambientais. Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, PB, Brasil.

PEREIRA, A. P.; GONÇALVES, M. M. Compostagem doméstica de resíduos alimentares. **Pensamento Plural: Revista Científica do UNIFAE**, São João da Boa Vista, v. 5, n. 2, 2011.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: UFV.81p, 2007.

PIGATIN, L. B. F.; MENDES, L. A.; BENETTI, F. Vermicompostagem. In: Nunes, R. R.; Rezende, M. O. O. (Ed.). **Recurso solo: propriedades e usos**. São Carlos: Editora Cubo, p. 660–679, 2015.

QUEIROZ, F. F. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Saneamento) Universidade estadual de Londrina, Londrina, 2007.

REIS, G. M.; RIBEIRO JR, J. I. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. In: III Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção, 2007, Viçosa. **Anais do III Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção**, 2007.

RUBIO, F.; ZINN, K. P.; LARA, M. K.; MALTEZO, A. G. C.; PERUCCI, L. R.; POLLETO, K. W. G.; FONSECA, C.; BATISTA, B. M. Fitotoxicidade de Preparado de Microrganismos Eficazes (Em). In: II Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologias Ambientais, 2, 2017, Toledo. **Anais do II Congresso Brasileiro de Ciências e Tecnologias Ambientais**. Toledo, 2017.

SABARATMAN, V.; ALI HASSAN, M. Biohydrogen Production via Fermentation of Biowastes by microorganisms. **State of the art and progress in production of biohydrogen. Danvers: Bentham Science Publishers**, p. 112-26, 2012.

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

SILVA, F. C. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília: Embrapa Solos, 1999. 370p.

SILVA, P. R. D.; LANDGRAF, M. D.; REZENDE, M. O. O. Avaliação do potencial agrônomo de vermicomposto produzido a partir de lodo de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, vol. 6, n. 4, p.565-575, 2011.

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. p.159-190. In: **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas.** São Paulo: Blucher, 2017.

TAKANE, R. J.; SIQUEIRA, P. T. V.; KAMPF, A. N., 2012. **Técnicas de preparo de substratos para aplicação em horticultura (Olericultura e fruticultura).** 2. Ed. Brasília (DF): LK Editora, 2012.

TAVARES, R. G.; SOBRINHO, M. A. M.; PEREIRA, L.; CÔRREA, M. M.; ARRUDA, V. C. M.; MELO, R. R. C. Avaliação da toxicidade do lodo de estação de tratamento de água e esgoto, antes e após vermicompostagem, usando teste de germinação com semente de alface (*Lactuca sativa*). **Revista DAE**. n. 218. v. 67., 2019.

TEIXEIRA, L.B.; GERMANO, V. L. C.; DE OLIVEIRA, R. F.; FURLAN JÚNIOR, J. **Processo de compostagem, a partir de lixo orgânico urbano, em leira estática com ventilação natural.** Belém: Embrapa, 2004, 8 p. (Circular Técnica, 33).

TEIXEIRA, W.; RUBIO, F.; LARA, M. K.; ZINN, K. P.; SILVA, M.G. Obtenção de Microrganismos Eficazes in Vitro. In: V SEPIN – V Seminário de extensão, ensino, pesquisa e inovação, **Anais do V SEPIN**, Cascavel, 2016.

VICENTINI, L. S.; CARVALHO, K.; RICHTER, A. S. Utilização de microorganismos eficazes no preparo da compostagem. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, 2009.

VICH, D. V., MIYAMOTO, H. P., QUEIROZ, L. M.; ZANTA, V. M. Compostagem doméstica de resíduos de alimentos em composteira de pequena escala. **Revista Ambiente e Água**, vol.12, n.5, pp.718-729, 2017.

VIEIRA, L. A. **Compostagem de biossólido de estação de tratamento de efluentes de frigorífico com serragem e cama de aves**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal de Pelotas, Pelotas/RS, 2016.

WACHHOLZ, L.; VIANNA, R. N.; BROCH, J.; DE SOUZA, C. Possibilidade do uso de Mexilhão Dourado contaminado com metais tóxicos em dietas para frangos de corte. **Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA**, p. 227-235, 2017.

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic absorption spectrometry**. Ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; DE BERTOLDI, M. Evaluating toxicity of immature compost. **Biocycle**, v. 22, p. 54-57, 1981.

4 CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DO CRESCIMENTO INICIAL DE MUDAS SEMINAIS DE *Eucalyptus dunnii* Maiden NO VIVEIRO E CAMPO EM DIFERENTES FORMULAÇÕES DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS PROVENIENTES DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E VERMICOMPOSTAGEM

RESUMO

Com a crescente preocupação ambiental em relação a destinação de resíduos gerados pelos diversos setores de produção, faz-se necessário estudar novas possibilidades de utilização de materiais na composição de substratos para produção de mudas. Assim, objetivo deste trabalho, foi avaliar as características físicas e químicas dos substratos formulados a partir do processo de compostagem e vermicompostagem e avaliar o crescimento de mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* Maiden, nos substratos e adubos alternativos formulados a partir dos compostos orgânicos a base de mexilhão dourado e resíduos urbanos produzidos por ambas as técnicas. O experimento foi dividido em duas fases principais: fase de viveiro e condução em campo. Os tratamentos estudados foram: T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Inicialmente, foi realizada a caracterização dos substratos: umidade atual, densidade úmida e seca, matéria seca, porosidade total, espaço de aeração (EA), água facilmente disponível, capacidade de retenção de água (CRA), pH, condutividade elétrica e determinação de macro e micronutrientes. Após, realizou-se semeadura direta em tubetes de 50 cm³, com sementes de *Eucalyptus dunnii*. Para a avaliação das mudas em viveiro, o delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo: TA (30 dias após a emergência- DAE), TB (60 dias após a emergência- DAE) e TC (90 dias após a emergência- DAE), com 2 repetições. A avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade das mudas: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (D), relação H/D, massa seca de raiz, parte aérea e total (MSR, MSPA, MST), área foliar (AF) e número de folhas (NF), índice de qualidade de Dickson (IQD), facilidade de retirada do tubete (FRT) e agregação das raízes ao substrato (AGR). Já em campo, o delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo: no plantio, 15 DAP, 30 DAP, 45 DAP, 60 DAP, 75 DAP, 90 DAP, com 2 repetições. Em relação aos substratos, os resultados demonstraram que com a redução do composto orgânico (C) na formulação dos substratos, diminuiu o EA, elevou a microporosidade, e proporcionou maior CRA. E observou maiores concentrações de nitrogênio, cálcio, ferro e zinco, nos substratos com C. As mudas em viveiro, apresentaram valores de H e D que aumentaram ao longo dos tempos de avaliação, já as mudas que apresentaram melhor desempenho em campo, com maior incremento em H e D, aos 90 dias do plantio, foram do tratamento T7: 75% C + 25% SC + AC. Os substratos formulados com maior proporção de C ou como componente único apresentaram características favoráveis para o crescimento inicial das mudas de *E. dunnii* Maiden em viveiro e seu estabelecimento em campo.

Palavras-chave: Eucalipto. Composto orgânico. Qualidade de mudas.

ABSTRACT

With the growing environmental concern in relation to the disposal of waste generated by the various production sectors, it is necessary to study new possibilities for using materials in the composition of substrates for the production of seedlings. Thus, the objective of this work was to evaluate the physical and chemical characteristics of substrates formulated from the composting and vermicomposting process and to evaluate the growth of *Eucalyptus dunnii* Maiden seminal seedlings, in substrates and alternative fertilizers formulated from organic compounds based on golden mussel and municipal waste produced by both techniques. The experiment was divided into two main phases: nursery phase and field conduction. The treatments studied were: T1: 100% organic compost (C) + organic-based fertilizer (vermicompost (V)); T2: 75% C + 25% commercial substrate (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + chemical-based fertilizer (commercial fertilizer (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Initially, the substrates were characterized: current moisture, wet and dry density, dry matter, total porosity, aeration space (EA), easily available water, water holding capacity (CRA), pH, electrical conductivity and determination of macro and micronutrients. Afterwards, direct sowing was carried out in 50 cm³ tubes with *Eucalyptus dunnii* seeds. For the evaluation of seedlings in a nursery, the design used was completely randomized (DIC), in a split-plot scheme in time: TA (30 days after emergence - DAE), TB (60 days after emergence - DAE) and TC (90 days after emergence - DAE), with 2 repetitions. of the morphological parameters of seedling quality: shoot height (H), stem diameter (D), H/D ratio, dry mass of root, aerial part and total (MSR, MSPA, MST), leaf area (AF) and number of leaves (NF), Dickson quality index (IQD), ease of removal from the tube (FRT) and aggregation of roots to the substrate (AGR). In the field, the design used was randomized blocks (DBC), in a split-plot scheme in time: at planting, 15 DAP, 30 DAP, 45 DAP, 60 DAP, 75 DAP, 90 DAP, with 2 replications. Regarding the substrates, the results showed that with the reduction of the organic compound (C) in the substrate formulation, the EA decreased, the microporosity increased, and provided greater CRA. And he observed higher concentrations of nitrogen, calcium, iron and zinc, in substrates with C. Seedlings in the nursery showed values of H and D that increased over the evaluation times, whereas the seedlings that showed better performance in the field, with greater increment in H and D, 90 days after planting, they were from treatment T7: 75% C + 25% SC + AC. Substrates formulated with a higher proportion of C or as a single component presented favorable characteristics for the initial growth of *E. dunnii* Maiden seedlings in nurseries and their establishment in the field.

Keywords: Eucalyptus. Organic Compost. Seedling Quality.

4.1 INTRODUÇÃO

O Brasil encontra-se em pleno desenvolvimento no setor florestal, principalmente para fins energéticos (LOPES et al., 2021). Dentre as árvores mais plantadas no País, destaca-se o gênero *Eucalyptus sp.*, pelas características e diversas finalidades (EMPRAPA, 2019). A espécie *Eucalyptus dunnii* Maiden, é uma das mais utilizadas na região Sul do Brasil, por apresentar características importantes de adaptação a essa região, como: tolerância ao frio, rápido crescimento e rusticidade (LORENZI et al., 2003).

Visto que, a demanda por produtos florestais vem em crescente expansão, principalmente para utilização na matriz energética brasileira (RIBEIRO et al., 2020), têm-se a necessidade no aumento da produção de mudas, que para o sucesso no seu estabelecimento, dependem da qualidade, determinada por parâmetros de avaliação e desempenho após o plantio (GOMES; PAIVA, 2011; RITCHIE et al., 2010).

Assim, com a crescente preocupação ambiental em relação a destinação de resíduos gerados pelos diversos setores de produção (COSTA et al., 2015), estudar novas possibilidades de utilização de matérias-primas na composição de substratos para produção de mudas, faz-se necessário, uma vez que, pode reduzir os custos de produção, obter o aproveitamento e consequente diminuição do volume dos rejeitos orgânicos, se manejados corretamente (KRATZ et al., 2013a).

Vários resíduos possuem potencial de uso como substrato, no entanto, a pesquisa ainda é escassa ou inexistente. Os resíduos produzidos em grande escala, como os resíduos orgânicos urbanos (podas de árvores, resíduos vegetais- restos de frutas, verduras e legumes e o biossólido), são matérias-primas capazes de ser utilizadas como componente de substratos, porém, um dos desafios é utilização desses resíduos com alto poder de poluição e contaminação (KLEIN, 2015), em destaque o lodo de esgoto tratado (biossólido) e mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*). O mexilhão dourado por ser um organismo com característica invasora, nos últimos anos tornou-se uma problemática nacional, presentes em várias regiões do País (IBAMA, 2020).

A compostagem e vermicompostagem, são técnicas eficientes na produção de substratos e adubos orgânicos alternativos (DOMINGUEZ et al., 2010). No entanto, é necessário avaliar esses compostos, quanto às suas propriedades físicas e químicas, para utilização segura na produção (HEISKANEN, 2013; KLEIN et al., 2012).

Diante disso, acredita-se que os substratos formulados com composto orgânico, apresentaram características favoráveis para o crescimento inicial das mudas em viveiro e seu estabelecimento em campo.

Logo, o objetivo foi avaliar as características físicas e químicas dos substratos formulados a partir do processo de compostagem e vermicompostagem, bem como avaliar o crescimento de mudas seminais de *Eucalyptus dunnii* Maiden, nos substratos e adubos alternativos formulados a partir dos compostos orgânicos a base de mexilhão dourado e resíduos urbanos produzidos por ambas as técnicas.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização das Áreas de Estudo

O experimento foi dividido em duas fases principais: fase de viveiro e condução em campo.

Na fase de viveiro, foi inicialmente realizado o preparo dos substratos e posteriormente a condução das mudas, nas dependências do Instituto Federal do Paraná (IFPR) Campus Foz do Iguaçu, com as coordenadas 25°30'16.6"S 54°34'30.7"W (GOOGLE EARTH, 2021), na cidade de Foz do Iguaçu, localizada no extremo Oeste do Paraná, no período de fevereiro a maio de 2020. De acordo com a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e invernos considerados amenos, mas apresentando risco de quedas bruscas na temperatura, abaixo de 0°C, com temperaturas médias anuais entre 21,4°C e 22,1°C (APARECIDO et al., 2016).

Os dados climáticos referentes ao período experimental (temperaturas mínimas, máximas, umidade relativa máxima e mínima) foram obtidas do instrumento termo-higrômetro analógico, instalado no viveiro, observadas e monitoradas diariamente, em dois períodos: no início da manhã e final de tarde (Figura 1).

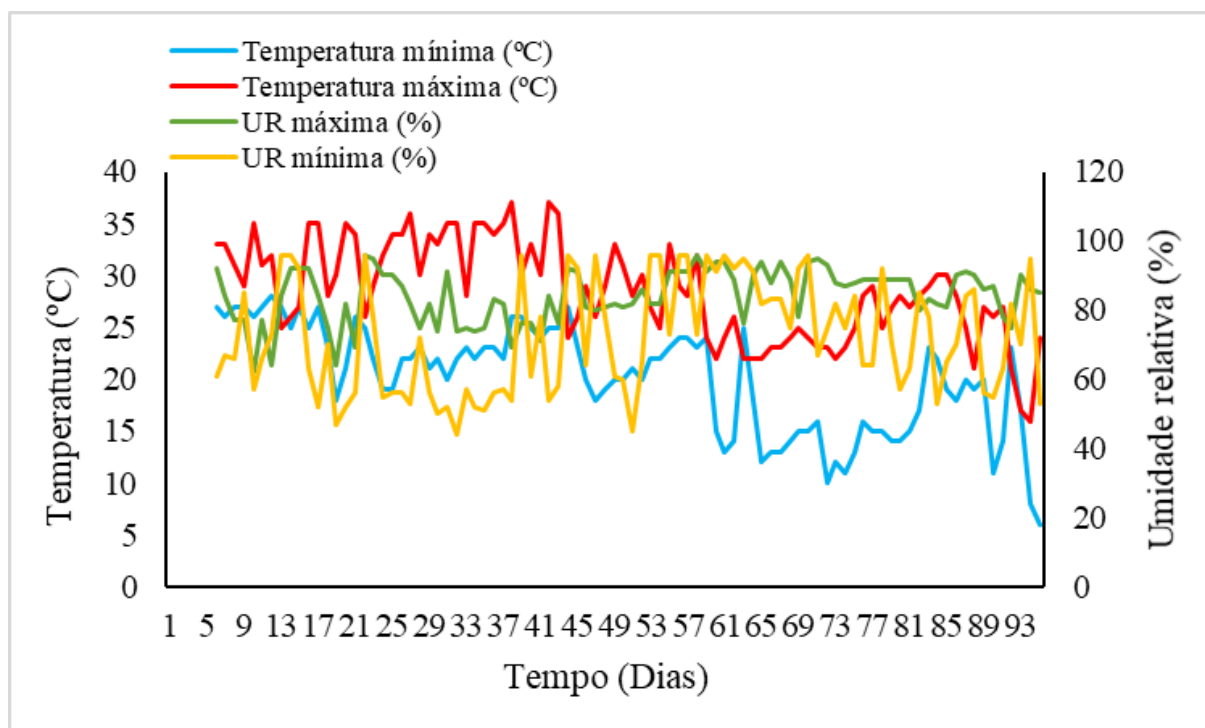


Figura 1-Temperaturas e umidade relativa mínima e máxima diárias, obtidas do termo-higrômetro instalado no viveiro.

Fonte: AGRITEMPO (2020).

Já na fase de campo, o experimento foi conduzido em propriedade particular, latitude 25° 6'40.12" S e longitude 53°19'38.63" W (GOOGLE EARTH, 2021), localizado no Rio do Salto, município de Cascavel/PR, no período de maio a agosto de 2020. De acordo com classificação climática de Köppen, o clima é do tipo Cfa, clima subtropical úmido, com verão quente e temperaturas médias variando entre 19,3°C e 20,1°C, com precipitação média anual entre 1550 mm e 1650 mm e altitude média de 781 metros (ALVARES et al., 2014; APARECIDO et al., 2016).

Os dados climáticos referentes ao período experimental (Figura 2) foram obtidos do sistema de monitoramento agrometeorológico (AGRITEMPO).

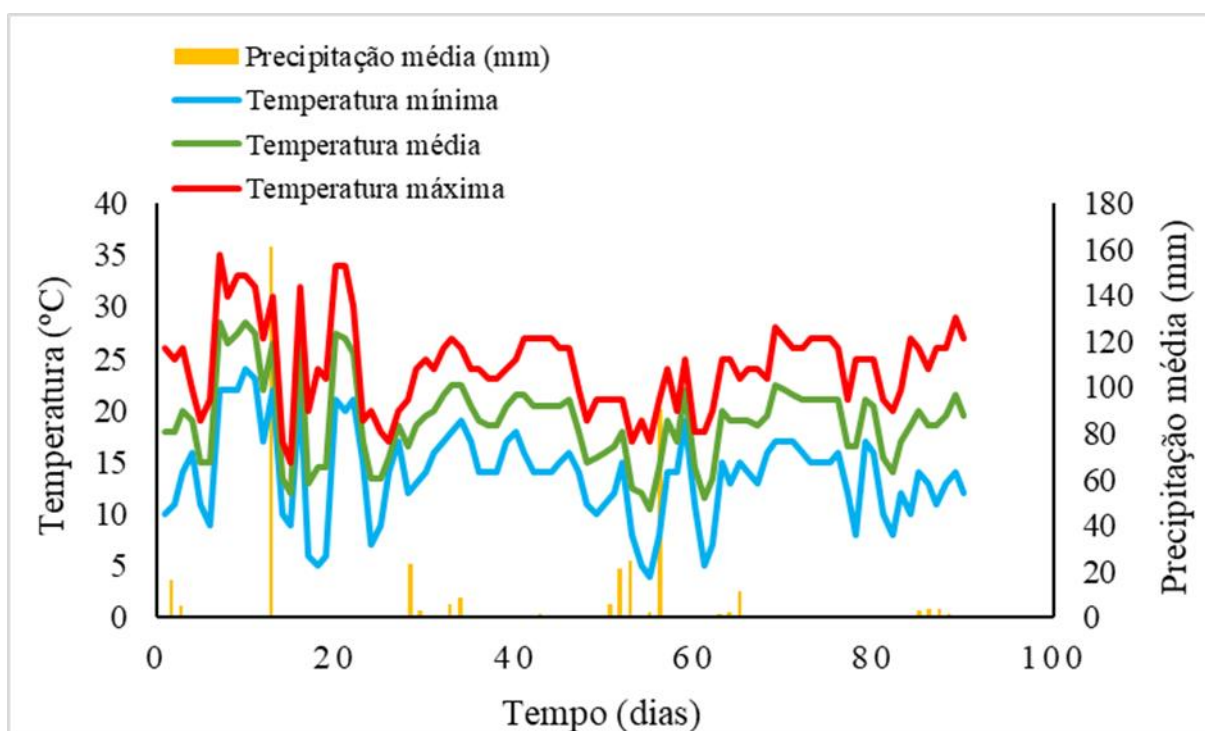


Figura 2- Precipitação média e temperaturas mínima, média e máxima no período de maio a agosto de 2020 do município de Cascavel/PR.

Fonte: AGRITEMPO (2020).

4.2.2 Substratos

O composto e vermicomposto orgânico utilizado para a formulação dos substratos foram originados do processo de compostagem e vermicompostagem. Foram selecionados, o composto proveniente da pilha 2 e o vermicomposto 2, baseado em: resíduos urbanos+mexilhão dourado (resíduos urbanos: resíduos de poda de árvores+biossólido+resíduos vegetais: restos de frutas, legumes e verduras), com o critério de acordo com a menor taxa de metais pesados tóxicos, encontradas nos compostos finais avaliados.

Inicialmente, os substratos formulados foram caracterizados quanto suas características físicas e químicas, no Laboratório de Biologia, Microbiologia e Qualidade de Água do IFPR-Campus Foz do Iguaçu e no Laboratório de Análises de Substratos para Plantas (LASPP) da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre/RS.

Para formulação dos substratos foram utilizadas diferentes proporções de mistura: 100%:0; 75:25%; 50:50%; 25:75%; 0:100% (volume:volume) de composto orgânico (C) e substrato comercial (SC), assim, foram constituídos os cinco substratos.

O substrato comercial utilizado foi Carolina Soil® 0,4 EC, a base de turfa de sphagnum, perlita expandida, vermiculita expandida e casca de arroz. Este substrato é considerado inerte, pois contém níveis mínimos ou nenhum de nutrientes, para não influenciar na dosagem de adubo utilizado nos tratamentos.

Para constituir os tratamentos, os substratos foram misturados manualmente a duas adubações de base distintas: orgânica (vermicomposto) e química (adubo comercial) (Tabela 1) e (Figura 3).

Tabela 1- Constituição dos tratamentos para semeadura do eucalipto

Tratamentos	Substratos	Adubação de base
T1	100% C	Orgânica (vermicomposto)
T2	75% C + 25% SC	
T3	50% C + 50% SC	
T4	25% C + 75% SC	
T5	100% SC	
T6	100% C	Adubação química (adubo comercial)
T7	75% C + 25% SC	
T8	50% C + 50% SC	
T9	25% C + 75% SC	
T10	100% SC	

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

O adubo químico foi obtido da Cooperativa Agroindustrial de Cascavel (COOPAVEL), composto de macro e micronutrientes em pó, separadamente: sulfato de amônio (21% de nitrogênio- N e 23% de enxofre- S), superfosfato simples (18% de fósforo- P, 16% de cálcio- Ca, 10% de S), cloreto de potássio vermelho (60% de óxido de potássio- K₂O) e micronutrientes (fritas-FTE): UBYMIX (zinco, boro, cobre, ferro, manganês, cobalto e molibdênio), segundo a recomendação de Gonçalves e Poggiani (1996).

Foram utilizados 44 litros de substrato para preencher os 880 tubetes, ou seja, foram 88 tubetes/tratamento (4,4 L de substrato/tratamento).

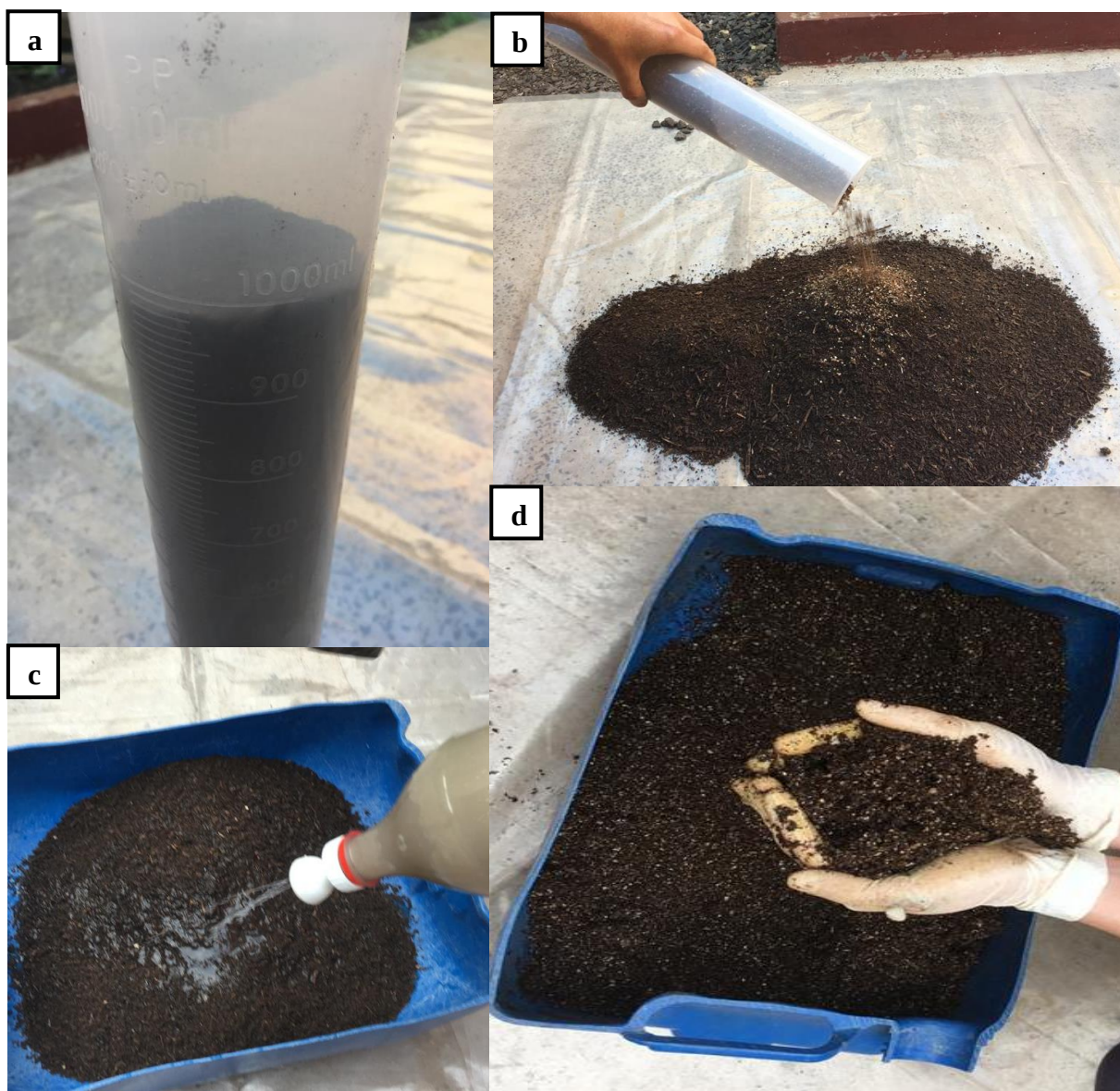


Figura 3- Mistura dos substratos e adubos para a constituição dos tratamentos. (a) Proveta de 1000 ml utilizada para determinar a quantidade dos componentes na mistura; (b) mistura dos diferentes substratos; (c) adubo químico diluído e aplicado na mistura; (d) mistura pronta para colocar nos tubetes.

Para a realização das análises foi encaminhado ao Laboratório de Análises de Substratos para Plantas (LASPP) da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária (FEPAGRO) do Rio Grande do Sul, em Porto Alegre/RS, uma amostra de 2 litros de cada substrato, sem adubação de base. A caracterização física dos substratos foi realizada conforme metodologias a seguir: A determinação da umidade atual, densidade úmida (DU) e seca (DS) foi realizada segundo a Instrução Normativa nº 17, de maio de 2007 (BRASIL, 2007), e a (DU e DS) pelo método da autocompactação descrito por Hoffman (1970).

Para DU e DS, foi preenchido uma proveta graduada plástica de 500 mL, com o substrato. Após, foi deixada cair sob a ação do seu próprio peso, de uma altura de 10 cm por dez vezes consecutivas. Com auxílio de uma espátula foi nivelado a superfície e procedeu-se a leitura do volume obtido (L). Em seguida, foram pesadas as amostras da massa úmida dos substratos e secas em estufa, a 65 °C por 48 horas. E após, determinada a umidade em percentagem, de acordo com as equações 1, 2, 3 e 4.

$$U (\%) = \frac{\text{massa úmida} - \text{massa seca}}{\text{massa úmida}} \times 100 \quad (1)$$

U = Umidade atual (%)

$$DU (g L^{-1}) = \frac{\text{massa úmida (g)} \times 1000}{V (L)} \quad (2)$$

DU = Densidade úmida (g L⁻¹)

V= Volume (L)

$$MS(\%) = \frac{1 - (\text{massa úmida} - \text{massa seca})}{\text{massa úmida}} \times 100 \quad (3)$$

MS = Matéria seca (%)

$$DS (g L^{-1}) = \frac{DU (g L^{-1}) \times MS (\%)}{100} \quad (4)$$

DS = Densidade seca (g L⁻¹)

MS= Matéria seca (%)

Para a determinação da porosidade total (PT), espaço de aeração (EA), água facilmente disponível (AFD), foi realizada nas tensões de 0; 10; 50 e 100 hPa (DE BOODT; VERDONCK, 1972), e capacidade de retenção de água (CRA) nas tensões de 10, 50 e 100 hPa, pelo método da mesa de tensão descrito por Kiehl (1979).

Inicialmente, foi vedado o fundo dos anéis metálicos com um pedaço de tecido e atilho de borracha, pesados e preenchidos com os substratos, na quantidade de acordo com a densidade úmida para uniformidade do volume, e colocados em bandejas plásticas com água até 0,5 cm da borda superior, para saturação por 24 horas. Após, os anéis foram retirados e pesados, e transferidos para a mesa, ajustada na tensão de 10 cm de coluna de água (10 hPa), e permaneceram até atingir o equilíbrio, por 48 horas, e posteriormente pesados. O procedimento foi repetido para as tensões de 50 e 100 cm de coluna de água. Para determinação da umidade e massa da matéria seca, as amostras foram secas em estufa a 65 °C por 48 horas.

A partir dos valores de umidade volumétrica, obtidos dos percentuais de água retida para cada tensão, foi possível a construção da curva de retenção de água, para determinar a PT (umidade volumétrica presente nas amostras saturadas na tensão 0 hPa); EA (diferença obtida entre a PT e a umidade volumétrica na tensão de 10 cm-10 hPa); AFD (volume de água entre os pontos 10 e 50 cm de tensão (10 e 50 hPa)); CRA (quantidade de água retida do substrato após ser submetido a tensão de 10, 50 e 100 hPa) (FERMINO, 2014).

As equações para o cálculo das características, são apresentadas a seguir:

$$PT (\%) = \frac{\text{massa úmida (tensão 0)} - \text{massa seca(estufa)}}{\text{Volume do anel}} \times 100 \quad (5)$$

PT = Porosidade total (%)

$$EA (\%) = \frac{\text{massa úmida (tensão 0)} - \text{massa úmida (tensão 10)}}{\text{Volume do anel}} \times 100 \quad (6)$$

EA = Espaço da aeração (%)

$$AFD (\%) = \frac{\text{massa úmida (tensão 10)} - \text{massa úmida (tensão 50)}}{\text{Volume do anel}} \times 100 \quad (7)$$

AFD = Água facilmente disponível (%)

$$CRA (10) = PT - EA \quad (8)$$

CRA (10) = Capacidade de retenção de água na tensão de 10 hPa

$$CRA (50 \text{ e } 100) = \frac{\text{massa úmida (tensão 0)} - \text{massa úmida (tensão 50 e 100)}}{\text{Volume do anel}} \times 100 \quad (9)$$

CRA (50 e 100) = Capacidade de retenção de água na tensão de 50 E 100 hPa

A caracterização química dos substratos foi realizada conforme metodologias apresentadas: a determinação de CTC efetiva, foi realizada segundo a Instrução Normativa nº 17 (BRASIL, 2007).

Para pH e condutividade elétrica (CE) foi de acordo com o método 1:5 (v/v) descrito na Instrução Normativa nº 17 (BRASIL, 2007), no qual, foi preparado uma mistura de 60 mL de substrato, segundo a densidade úmida do material e adicionado 300 mL de água deionizada, agitado em Agitador de Wagner, a 40 rpm de rotação, por 1 hora. Após as amostras foram filtradas e foi realizada a leitura do pH e da condutividade elétrica, por meio de um pHmetro de bancada digital e condutímetro de bancada, respectivamente.

Foi determinada a concentração de macronutrientes: Nitrogênio (N), Fósforo (P), Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg) e micronutrientes: Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn). A concentração de (N) foi determinada pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2005). (P) por colorimetria, (Ca, Mg, Cu, Fe, Zn e Mn), por espectrofotometria de absorção atômica (WELZ; SPERLING, 1999). A determinação de K foi realizada por fotometria de chama (SILVA, 1999). Para a determinação de Ca também utilizado o método de EAA/chama de Welz e Sperling (1999).

4.2.3 Fase de Viveiro

O viveiro para fase de germinação foi construído com base de madeira, com lona plástica transparente sobre uma manta térmica para regular a temperatura de cobertura e na estrutura, fechado nas laterais com tela sombrite de fator 50%, inclusive a porta, com dimensões de 2,5 m de comprimento e 2 m de largura, localizado nas dependências do Instituto Federal do Paraná (IFPR) Campus Foz do Iguaçu. Foi construído um apoio de madeira de 0,90 cm do chão, para dispor as bandejas no viveiro.

Foram utilizados tubetes cilindro-cônicos de polipropileno, previamente limpos, com capacidade volumétrica de 50 cm³, que foram dispostos em bandejas de polipropileno (dimensões de 60 cm de comprimento x 40 cm de largura) com capacidade para 187 células. O preenchimento dos tubetes foi realizado manualmente, com leve compactação para acomodação do substrato.

A bandeja de 187 células, inicialmente foi utilizado para compor 2 repetições, selecionadas aleatoriamente, e tubetes colocados de forma alternada. Totalizando 10 bandejas no viveiro. Pode-se observar no exemplo a seguir (Figura 4):

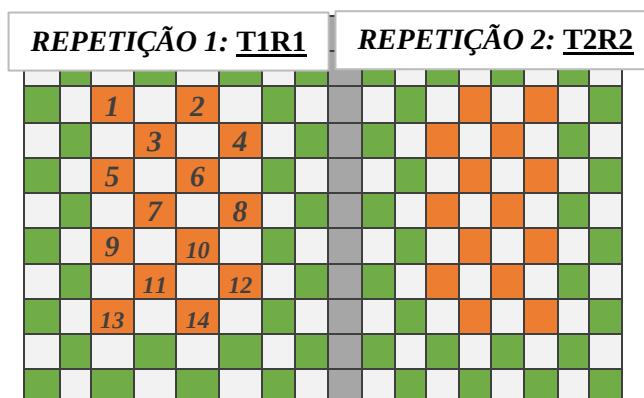


Figura 4- Ilustração da distribuição dos tratamentos nas bandejas, no início do experimento.

187 células - 1 fileira (11 células) = 176 células/2 repetições por bandeja= 88 tubetes/bandeja alternado = 44 mudas/repetição, ou seja, 88 mudas/tratamento.

Onde:

-  Espaços vazios para melhor arejamento das mudas, sem tubetes, de forma intercalada
-  Fileira vazia para separação dos tratamentos na mesma bandeja
-  Área útil- mudas avaliadas quanto à altura (H) e diâmetro do coleto (D) no viveiro
-  Mudas consideradas da bordadura

A alternagem das mudas foi realizada aos 47 dias após a semeadura, reduzindo-se a densidade das mudas de acordo com a capacidade da bandeja. Assim, cada repetição, ficou em uma bandeja (Figura 5) para melhor aeração, e não ocorrer acamamento e sufocamento das mudas. Totalizando 20 bandejas (unidades experimentais).

A área útil foi composta por 14 mudas/repetição, ou seja, 28 mudas/tratamento. Total de 280 mudas avaliadas.

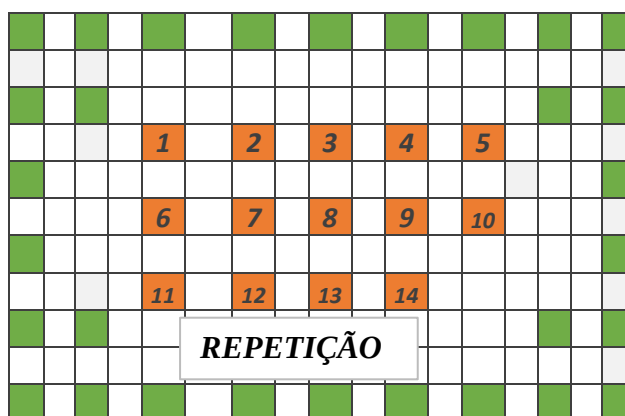


Figura 5- Ilustração da distribuição dos tratamentos nas bandejas, após 47 DAE.

Onde:

-  Espaços vazios para melhor arejamento das mudas, sem tubetes, de forma intercalada
-  Área útil- mudas avaliadas quanto à altura (H) e diâmetro do coleto (D) no viveiro
-  Mudas consideradas da bordadura

As diferentes adubações de base, foram realizadas no momento da formulação dos tratamentos, segundo Gonçalves e Poggiani (1996), formada por 150 g de nitrogênio (N), 300 g de P_2O_5 , 100g de K_2O e 150g de “fritas” (mistura de micronutrientes) por metro cúbico de substrato, o que é suficiente para encher 20.000 tubetes com capacidade de 50 cm³. Na adubação orgânica foi utilizada o vermicomposto como fonte de N (83 g/tratamento [88 tubetes]) + superfosfato simples (P) (5,6 g/tratamento) + cloreto de potássio vermelho (KCl) (0,44 g/tratamento). As concentrações de macronutrientes nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio (N; P; K; Ca e Mg) do vermicomposto foram respectivamente: 22,70; 1,54; 2,77; 32,89 e 2,78 g kg⁻¹ e micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco (Cu; Fe; Mn e Zn): 364,05; 27099,75; 381,90; 1026,30 mg kg⁻¹, respectivamente.

Já adubação química foi utilizado N (sulfato de amônio) (0,66 g/tratamento), P

(superfosfato simples) (7,3 g/tratamento), K (cloreto de potássio vermelho) (0,73g/ tratamento) e “Fritas” (FTE) (0,66g/tratamento). Como a quantidade do adubo químico a ser utilizada era pequena, o que tornaria mais difícil a sua homogeneização aos substratos, optou-se por aplicá-lo diluído. Eram um total de 880 tubetes, divididos em partes iguais com adubação de base orgânica (vermicomposto) e adubação de base química.

A adubação em cobertura foi realizada da mesma forma para todos os tratamentos, que consistiu em 1 kg de sulfato de amônio (N), 300g de cloreto de potássio (K), 100 litros de água (GONÇALVES; POGGIANI, 1996), para regar 10.000 tubetes em um intervalo de 7 a 10 dias. Foi utilizado o sulfato de amônio (0,66 g/tratamento) + cloreto de potássio vermelho (14,7g/tratamento) em 8,8 L de água, aplicado aos 30 dias após a emergência (DAE)= N e K, 60 DAE= N e K e 80 DAE= K.

A irrigação foi realizada manualmente com auxílio de regadores. Durante a fase de semeadura foi realizada com 6 L de água/dia por m² de viveiro, dividido e aplicado 4 vezes ao dia, duas no período da manhã e duas no período da tarde. Durante a fase de crescimento, foi realizada com 13 L m² de viveiro ao dia, dividido e aplicado 6 vezes ao dia, três no período da manhã e três no período da tarde (WENDLING; DUTRA, 2017).

As sementes de *Eucalyptus dunnii* Maiden, cultivar Rigesa III foram adquiridas da empresa Sementes Caiçara- SP, safra de 2019, lote 120, apresentando 17,2 % de pureza, germinação e viabilidade de 82%. A semeadura foi realizada de forma manual, foi aberta uma cavidade rasa central no substrato distribuída uma quantidade de sementes em cada tubete e posteriormente recebeu uma fina camada de substrato.

Após a germinação e emergência das plântulas (10 dias da semeadura), as bandejas foram acondicionadas na casa de sombra (adaptação do viveiro), que consistiu na base de madeira, em sua estrutura e cobertura com tela sombrite fator 50%, para a fase de crescimento (Figura 6). A taxa média de emergência das plântulas foi de 98%. Nesta fase, as mudas permaneceram por 75 dias.

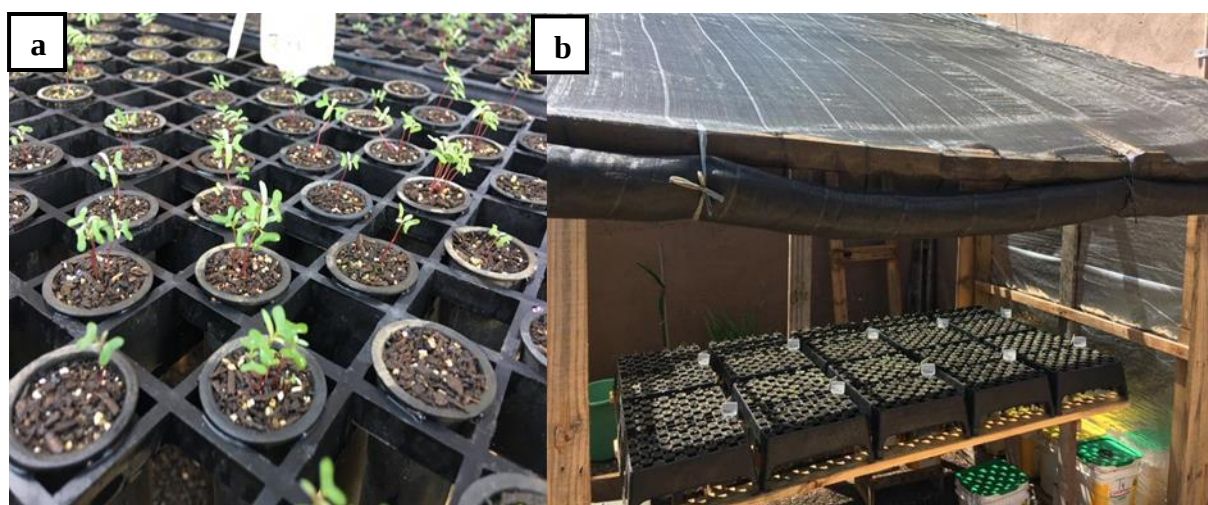


Figura 6- Casa de sombra construída para a fase de crescimento das mudas. (a) Mudanças de *Eucalyptus dunnii* Maiden, no 10º dia após a emergência (DAE); (b) casa de sombra.

O desbaste foi realizado no 13º dia após a emergência (DAE), quando as plântulas apresentavam aproximadamente 3 cm de altura, que consistiu em deixar apenas a planta que apresentava maior centralização e crescimento da parte aérea.

Para a avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade das mudas, foi mensurada a altura da parte aérea (H) em centímetros (determinada a partir da base do caule-colo, até o ápice da folha mais nova), com régua milimétrica e o diâmetro do coleto (D), com o paquímetro digital (mm), obtendo-se a relação H/DC, a cada 30 dias até o final do experimento (90 dias). Aos 90 dias, foram realizadas também, análises destrutivas em 2 mudas/repetição (total de 40 mudas): massa seca de raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), área foliar (AF) e número de folhas (NF) (Figura 7) e índice de qualidade de Dickson (IQD).

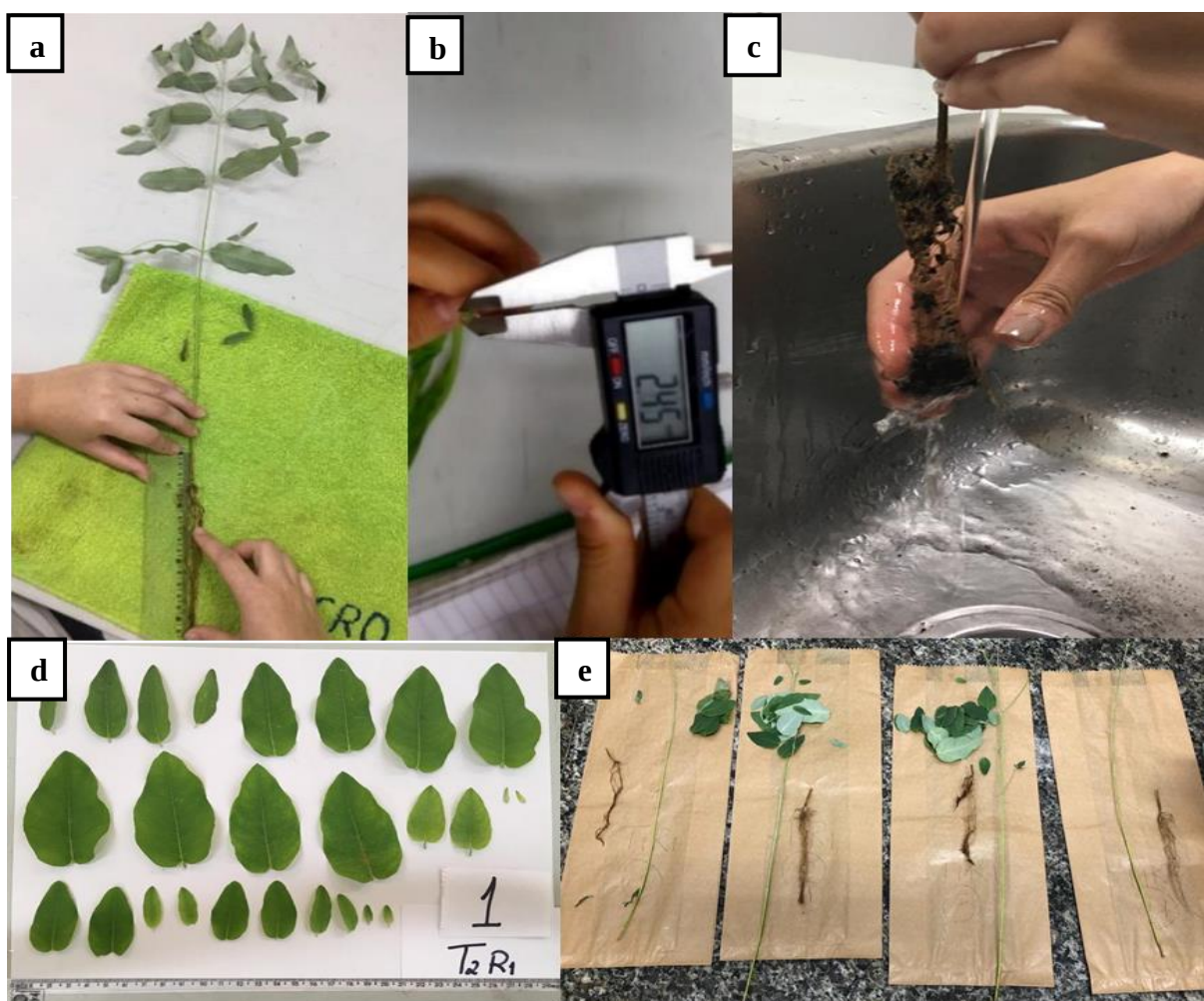


Figura 7- Análises destrutivas realizadas em laboratório, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas de *E. dunnii*, em viveiro.

(a) Altura da parte aérea (H); (b) medida do diâmetro do coleto (D); (c) lavagem do sistema radicular, para a retirada do substrato; (d) folhas destacadas da parte aérea do *E. dunnii*, para contagem do número de folhas (NF) e determinação da área foliar (AF) e (e) Parte aérea e raiz, acondicionadas em sacos de papel pardo para determinação da massa seca da parte aérea (MSPA) e raiz (MSR).

Para as avaliações de H e D da área útil, foi padronizado as mudas na direção e sentido: horizontal, da esquerda para a direita. As mudas selecionadas para as avaliações destrutivas foram padronizadas pelo nº 09 e 10 de cada repetição.

Para as análises destrutivas, as mudas foram encaminhadas ao Laboratório de Biologia, Microbiologia e Qualidade de Água do IFPR-Campus Foz do Iguaçu. Primeiramente, as folhas foram destacadas para a determinação do NF e AF (Figura 7d).

Para determinação da área foliar, as folhas de cada tratamento, foram distribuídas sobre uma folha de papel branca A4 e fotografadas. As imagens foram processadas pelo software QUANT v.1.0.2 (VALE et al., 2003).

O sistema radicular foi destacado da parte aérea, lavado em água corrente para a retirada do substrato (Figura 7c), as amostras foram acondicionadas em sacos de papel pardo,

identificadas e levadas para estufa a 65° C, por 72 horas (Figura 7e), sendo posteriormente, pesadas em balança digital de precisão, para determinação da MSPA, MSR e MST e o índice de qualidade de Dickson (IQD).

Além disso, ao final dos 90 dias, 4 mudas/tratamento, foram selecionadas aleatoriamente para avaliação da facilidade de retirada do tubete (FRT) e agregação das raízes ao substrato (AGR), que consiste em atribuir nota de 0-10 as variáveis estudadas. FRT (0- dificuldade máxima e 10- facilidade máxima de retirada das mudas do tubete), após três batidas na parte superior do tubete. Para atribuir nota a AGR, as mudas retiradas dos tubetes, foram soltas em queda livre a um metro do solo e observado o torrão (0- totalmente destorreado e 10- torrão íntegro) (WENDLING; GUASTALA; DEDECEK, 2007).

Na área de rustificação, as mudas foram expostas a pleno sol e a frequência das irrigações foram reduzidas gradativamente, durante 15 dias, antes do plantio no campo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com 2 repetições.

As parcelas foram constituídas pelos 10 substratos formulados, com 2 adubações de base distintas: orgânica (vermicomposto) e química, como descrito no tópico 2.2.1.1 (Tabela 1). As unidades experimentais foram representadas por bandejas de polipropileno, na qual foi avaliado 14 mudas/repetição, ou seja, 28 mudas/tratamento. As subparcelas foram compostas por três tempos de avaliação das características estudadas, H e D: TA (30 dias após a emergência- DAE), TB (60 dias após a emergência- DAE) e TC (90 dias após a emergência- DAE).

Os resultados das características avaliadas ao longo do tempo e ao final dos 90 dias, foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para o teste F (Fisher). Quando constatados efeitos significativos, foi realizada a comparação entre médias com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Genes[®] (CRUZ, 2013).

Se os dados não apresentaram normalidade e homogeneidade, as pressuposições não foram transformadas. O teste paramétrico F da ANOVA obteve resultados mais satisfatórios que os testes não paramétricos de Kruskal-Wallis e de Friedman, mesmo para situações que se distanciam da normalidade. Em síntese, não há necessidade de substituir o teste paramétrico F pelos seus respectivos competidores não paramétricos na ausência de normalidade. Desde que, observando outros parâmetros da análise estatística principalmente quanto ao coeficiente de variação, diferença mínima significativa (D.M.S) (REIS; RIBEIRO, 2007).

4.2.4 Condução em Campo

Inicialmente, foi realizada amostragem de solo para a caracterização química e granulométrica da área (Tabela 2). O solo da região, segundo Santos et al. (2018) é classificado como Latossolo Vermelho Eutroférico (LVef) de textura argilosa.

Com base na análise de solo (Tabela 2), não houve a necessidade calagem e/ou gessagem, e foram realizadas as adubações de acordo com o manual de adubação e calagem (SBCS, 2019), baseado na produtividade de tora esperada do eucalipto (35-50 m³.ha ano): 70 kg de N/ha e 120 kg de P₂O₅/há. Assim, foi aplicado 400 g/cova de superfosfato simples, no dia do plantio e 210 g/cova de sulfato de amônio, 15 cm da muda, parcelada nos tempos: 30 dias após o plantio (DAP), 45 DAP e 60 DAP, totalizando 70 g/cova. Não foi realizada adubação de cobertura.

Tabela 2 - Características químicas e granulométricas do solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, antes da implantação das mudas de eucalipto

Camadas	P	MO	pH CaCl ₂	V	Al	Argila	Silte	Areia
	(mg dm ⁻³)	(g dm ⁻³)	(0,01 mol L ⁻¹)			(g kg ⁻¹)		
0-20 cm	4,41	33,49	4,70	593,50	6,30	612,80	257,20	130,00
20-40 cm	1,09	21,87	4,52	518,40	24,40	746,00	153,20	100,8
	H + Al	Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	SB	CTC	
	(cmolc dm ⁻³)							
0-20 cm	5,42	0,05	0,50	5,56	1,85	7,91	13,33	
20- 40 cm	5,58	0,15	0,14	4,47	1,40	6,01	11,59	

P: Fósforo; MO: Matéria orgânica; pH CaCl₂: pH em cloreto de cálcio; V: Saturação por bases; Al: Alumínio; H + Al: Acidez potencial; Al³⁺: Acidez trocável; K⁺: Potássio; Ca²⁺: Cálcio; Mg²⁺: Magnésio; SB: Soma de bases; CTC: Capacidade de troca de cátions.

A área foi preparada 25 dias antes do plantio, foi realizada a roçagem mecânica, e posteriormente foi utilizado a grade aradora de 16 discos médios, na profundidade 0,20 m, além do controle de formigas cortadeiras, pela aplicação de formicida líquido (fipronil), dose de 15 mL ha⁻¹, na área total. Ao longo dos 90 dias das mudas em campo, o controle de formigas cortadeiras e ervas daninhas, deu-se pela aplicação de formicida líquido e iscas de fipronil, quando necessário e capina manual, respectivamente.

Para o plantio foram selecionadas as mudas que sobraram da área útil do viveiro (12 mudas/repetição, ou já, 24 mudas /tratamento), totalizando 240 mudas, com valores médios de altura (H) e diâmetro do coleto (D). A área útil de avaliação das mudas para H e D, deu-se por 2 mudas/repetição centrais, ou seja, 4 mudas/tratamento, no total de 40 mudas avaliadas. O

espaçamento de plantio utilizado foi de 3 m entre linhas e 2 m entre as mudas, cada parcela era constituído por 72 m², área útil (mudas avaliadas) de 6 m², e área total de 1440 m² (Figura 8).

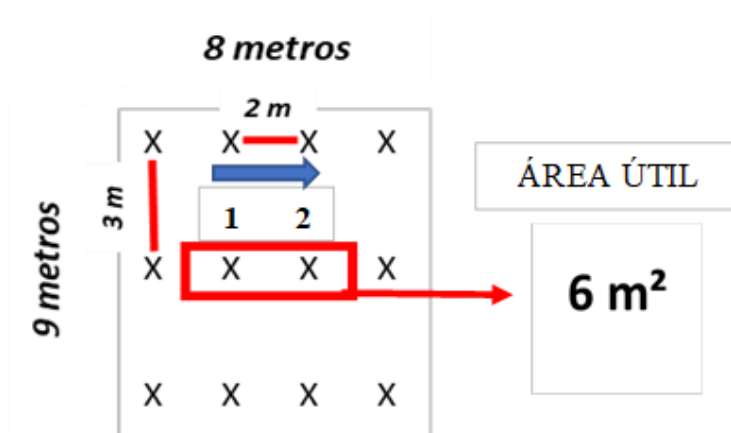


Figura 8- Espaçamento utilizado no plantio das mudas em campo de cada parcela.

O plantio foi realizado manualmente e logo após o plantio as mudas foram irrigadas com aproximadamente, 1 L de água por muda (Figura 9).



Figura 9- Plantio das mudas de eucalipto no campo, em maio de 2020, localizado no Rio do Salto, município de Cascavel/PR.

(a) Muda de *Eucalyptus dunnii* Maiden, selecionada para o plantio, (b) muda plantada em cova.

As avaliações dos parâmetros morfológicos das mudas, quanto à altura da parte aérea (H) e o diâmetro do coleto (D), foram realizadas quinzenalmente (no plantio, 15 DAP, 30 DAP, 45 DAP, 60 DAP, 75 DAP, 90 DAP), totalizando 7 avaliações em campo.

E ao final dos 90 dias, foi avaliado a taxa de sobrevivência e número de mudas mortas.

O delineamento experimental utilizado foi o em blocos casualizados (DBC), em esquema de parcelas subdivididas no tempo, com 2 repetições (Figura 10).

Bloco 1	T2 R1	T10 R1	T7 R2	T8 R2	T6 R1	T9 R2	T3 R1	T5 R2	T4 R2	T1 R1
Bloco 2	T8 R1	T9 R1	T3 R2	T6 R2	T4 R1	T5 R1	T2 R2	T1 R2	T10 R2	T7 R1

Figura 10 – Croqui e distribuição dos tratamentos em campo em DBC.

As parcelas foram constituídas pelos 10 substratos formulados, com 2 adubações de base distintas: orgânica (vermicomposto) e química, como descrito no tópico 2.2.1.1 (Tabela 1). As subparcelas foram compostas por 7 tempos de avaliação das características estudadas, H e D: (no plantio, 15 DAP, 30 DAP, 45 DAP, 60 DAP, 75 DAP, 90 DAP).

Os resultados das características avaliadas ao longo do tempo, foram tabulados e submetidos à análise de variância (ANOVA) a 5% de significância para o teste F (Fisher). Quando constatados efeitos significativos, foi realizada análise de regressão e escolhido o modelo que melhor se ajustasse a pesquisa. As análises estatísticas foram realizadas no programa estatístico Genes® (CRUZ, 2013).

Quanto as avaliações de facilidade de retirada do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AGR), taxa de sobrevivência e número de mudas mortas, os resultados foram tabulados e submetidos à análise de variância, e quando constatada diferença significativa pelo teste F, foi realizada a comparação entre médias com o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, utilizando o software estatístico Genes® (CRUZ, 2013).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Substratos

Um dos fatores mais importantes para a produção de mudas de espécies florestais é a qualidade do substrato (WENDLINNG; GUASTALA; DEDECEK, 2007).

Na Tabela 3 e 4, são apresentados a caracterização química e física dos substratos formulados, sem a mistura das adubações de base, respectivamente.

Tabela 3- Caracterização química dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial

Substratos	pH (H ₂ O)	CE (mS cm ⁻¹)	U (%)	CTC efetiva (mmol _c dm ⁻³)
S1	8,3	0,82	69,53	459,38
S2	6,3	0,62	50,37	456,78
S3	6,3	0,51	50,38	399,23
S4	6,3	0,33	48,91	397,84
S5	5,2	0,15	43,14	275,28

S1: 100% composto orgânico (C); S2: 75% C + 25% substrato comercial (SC); S3: 50% C + 50% SC; S4: 25% C + 75% SC; S5: 100% SC. pH: Potencial hidrogeniônico; CE: Condutividade elétrica; U: Umidade; CTC: Capacidade de troca catiônica. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

É possível observar os resultados de pH e condutividade elétrica (CE). Os substratos S1, S2, S3 e S4, apresentaram maior pH, visto que esses valores, variam de acordo com o material de origem (MARTÍNEZ, 2002) a presença do composto orgânico que em sua composição foi utilizado o biossólido, e em seu tratamento é utilizado a calagem, tornando os substratos mais alcalinos e maiores valores de CE, devido a concentração de sais na sua composição, que pode ser verificado na Tabela 3, essas características, à medida que diminui a percentagem de composto orgânico, diminui o pH e CE (CONTE et al., 2017; DA COSTA et al., 2015). Toledo et al. (2013), observaram resultado semelhante, em que substrato formado por 100% de composto orgânico elevou o pH a 8,0.

Valores de pH observados no trabalho para o substrato S1, foram citados por Kämpf (2005), que em composto de lixo urbano, os valores variam de 8,0- 8,6, e que segundo o autor, a recomendação da faixa de pH para substratos orgânicos varia de 5,0 a 5,8. Já Schmitz, Souza e Kämpf (2002), descrevem valores entre 6,0 e 7,0, e de acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), para as espécies florestais, o intervalo adequado de pH está entre 5,5 e 6,5. Desta forma, segundo os últimos autores, apenas os substratos S2, S3 e S4, estão na faixa adequada.

Quanto ao valor referência para a CE, não deve ficar acima de 1,0 mS cm⁻¹ (GONÇALVES et al., 2000), pois altos valores podem ocasionar prejuízos a atividade fisiológica e dificultar a absorção de água e nutrientes pelas raízes, além de favorecer a incidência e/ou severidade de patógenos (RODRIGUES, 2002). Todos os substratos, encontram-se na faixa ideal, de acordo com o autor.

Pode-se observar também alto teor de umidade nos substratos que variou de (43,14 a 69,53%). Segundo Klein et al. (2012) substratos com umidade alta, torna o custo de transporte mais elevado, neste caso, é possível fazer a correção da umidade por meio de secagem natural.

No que se refere à capacidade de troca catiônica (Tabela 3), todos os substratos apresentaram CTC adequada (275,28 a 459,38 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$), de acordo com Gonçalves e Poggiani (1996), que recomendam CTC efetiva ($> 20 \text{ mmol}_c \text{dm}^{-3}$), indicativo de retenção de cátions adequada e da capacidade manutenção de nutrientes do substrato (ALMEIDA, 2005).

Na Tabela 4, observa-se a caracterização física dos substratos. A densidade varia de acordo com a umidade do substrato, assim, quanto maior umidade, maior peso e menor volume do substrato (FERMINO, 2002). Os maiores valores de densidade úmida (DU) e densidade seca (DS), foram encontrados nos substratos 100% composto orgânico (C) ou com a presença de C em sua formulação (S1, S2, S3 e S4), justificado pela presença do biossólido no composto. Segundo Gonçalves e Poggiani (1996) e Kämpf (2005), todos os substratos apresentaram valores de DS, nos limites recomendado pelos autores, de no mínimo 250 kg m^{-3} e 200 a 400 g L^{-1} , para recipientes de até 15 cm de altura, respectivamente.

Tabela 4- Caracterização física dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial

Substratos	DU	DS	PT	EA	MICRO	AFD	CRA 10cm	CRA 50cm	CRA 100cm
	(g L ⁻¹)		(m ³ m ⁻³)						
S1	518	270	0,88	0,31	0,57	0,17	0,58	0,41	0,39
S2	455	232	0,84	0,26	0,58	0,19	0,58	0,39	0,37
S3	411	214	0,85	0,22	0,63	0,23	0,64	0,40	0,38
S4	335	177	0,86	0,19	0,67	0,27	0,67	0,40	0,37
S5	298	133	0,82	0,17	0,65	0,27	0,65	0,39	0,35

S1: 100% composto orgânico (C); S2: 75% C + 25% substrato comercial (SC); S3: 50% C + 50% SC; S4: 25% C + 75% SC; S5: 100% SC. MS: Matéria seca; DU: Densidade úmida; DS: Densidade seca; PT: Porosidade total; EA: Espaço de aeração; MICRO: microporosidade; AFD: Água facilmente disponível; CRA: Capacidade de retenção de água. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

A densidade está diretamente relacionada com a porosidade, e os poros podem ser classificados em macroporos e microporos: após a saturação hídrica, o substrato é drenado e quando os poros estão preenchidos por ar e seu volume é o espaço de aeração (EA), são classificados como macroporos e quando estão preenchidos por água e seu volume representa a capacidade de retenção de água (CRA) são classificados como microporos (KÄMPF, 2005; TRIGUEIRO; GUERRINI, 2014).

Os valores de porosidade total de todos os substratos foram adequados como descrito por De Boodt e Verdonck (1972), mínimo de 85%, e próximos ao que indicam os autores segundo Gonçalves e Poggiani (1996) (75 a 85%).

Para o EA ou macroporosidade, à medida que diminui a percentagem de composto orgânico, diminui o EA, o substrato S1 (100% composto orgânico) foi próximo aos valores considerados adequados (35% a 45%), de acordo com Gonçalves e Poggiani (1996). Assim como, com a redução do composto orgânico (C) na formulação dos substratos elevou a microporosidade, e proporcionou maior capacidade em reter água, os substratos S1 e S2 (100% composto orgânico e 75% C +25% substrato comercial), apresentaram valores próximos aos limites descritos por Gonçalves e Poggiani (1996), 45 a 55%.

A capacidade de retenção de água (CRA), fornece o volume de água disponível ou não às plantas a diferentes tensões, assim quanto maior o volume de água disponível às plantas a baixas tensões, menor a energia necessária para absorção pelas plantas (BUNT, 1988; FERMINO, 1996).

Pode-se observar também (Tabela 4), o teor de água facilmente disponível (AFD), que segundo De Boodt e Verdonck (1972), deve representar de 75 a 90 % do valor total de água disponível, assim apresentar de 20 a 30%. Os substratos S3, S4 e S5, estão na faixa considerada ideal para os autores, os demais substratos apresentaram valores muito próximos.

Desta forma, verificou-se que com a redução do composto orgânico (C) na formulação dos substratos, diminuiu a macroporosidade, elevou a microporosidade, e proporcionou maior capacidade em reter água. Logo, os substratos com maior proporção de C, necessitam de maior frequência de irrigação ou aumentar a quantidade em cada irrigação (WENDLING; DUTRA; GROSSI, 2006), quando comparada aos demais substratos. No entanto, os substratos formulados com (C), apresentaram valores adequados ou mais próximos aos recomendados pela literatura.

Na Tabela 5, é possível observar a concentração de macro e micronutrientes dos substratos formulados e substrato comercial (SC).

No que se refere aos macronutrientes destaca-se as maiores concentrações de nitrogênio (N) e cálcio (Ca). Já em relação aos micronutrientes, o ferro (Fe) e o zinco (Zn) foram os que apresentaram maiores concentrações. Nota-se que, conforme aumentou a proporção do C nos substratos, elevou-se as concentrações de macro e micronutrientes, isso deve-se a utilização do bio sólido e mexilhão dourado, matérias-primas ricas em N e Ca (BAYERLE et al., 2017; ILANI et al., 2016).

Tabela 5- Concentração de macronutrientes e micronutrientes dos substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial

Substratos	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	(g kg ⁻¹)					(mg kg ⁻¹)			
S1	23,60	1,63	5,77	51,54	1,93	342,75	29407,50	492,00	981,00
S2	12,50	1,86	1,88	29,80	7,21	39,38	12068,75	112,88	219,88
S3	9,90	1,39	1,79	18,41	14,91	41,63	12413,75	105,88	208,75
S4	8,50	1,29	1,11	15,44	14,39	45,00	12327,50	76,88	173,13
S5	1,90	0,27	0,81	5,28	25,00	48,88	14668,75	102,38	138,13

S1: 100% composto orgânico (C); S2: 75% C + 25% substrato comercial (SC); S3: 50% C + 50% SC; S4: 25% C + 75% SC; S5: 100% SC. N: Nitrogênio; P: Fósforo; K: Potássio; Ca: Cálcio; Mg: Magnésio; Cu: Cobre; Fe: Ferro; Mn: Manganês; Zn: Zinco. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido.

O substrato comercial utilizado tinha como componentes básicos: turfa de sphagnum, perlita expandida, vermiculita expandida e casca de arroz. É um substrato considerado inerte, pois contém níveis mínimos de nutrientes, como apresentado na Tabela 5. Os substratos com baixa ou nenhuma fertilidade, são preferíveis pelos produtores, pelo fato da facilidade de manipulação conforme a necessidade das mudas. Desta forma, no geral é uma característica que não é limitante na produção, se bem gerenciada e monitorada adequadamente (DUMROESE et al., 2011).

4.3.2 Fase de Viveiro

A Tabela 6, apresenta os valores obtidos a partir da medição dos parâmetros: altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D das mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro.

Não houve interação significativa entre as formulações dos substratos e os tempos de avaliação sobre os parâmetros das mudas: altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D, porém foi verificado efeito significativo ($p < 0,05$) para o fator isolado tempo para os parâmetros avaliados das mudas.

A emergência das sementes de *E. dunnii* iniciou 5 dias após a semeadura e encerrou aos 10 dias, após os semeio.

Os valores de H e D aumentaram ao longo dos tempos de avaliação, aos 90 dias após a emergência (DAE)- tempo TC, os valores foram superiores ao tempo TA e TB. Já em relação a H/D, o tempo TB e TC foi superior ao TA, ou seja, as mudas apresentaram maior crescimento nas variáveis estudadas (Tabela 6). Resultados semelhantes foram obtidos por Kratz et al.

(2013b), avaliando o crescimento das mudas de *Eucalyptus benthamii*, aos 30, 60 e 90 dias em diferentes substratos renováveis.

Já em relação aos substratos formulados, as mudas com menor crescimento apresentaram altura média de 13,64 cm no tratamento (T5), enquanto as mudas com maior crescimento estavam com 19,37 cm (tratamento T10). Para o diâmetro do coleto, a maior média foi obtida no tratamento T10 (1,88 mm), e a menor no tratamento T6 (1,37 mm), e a maior e menor média em relação H/D foram obtidas nos tratamentos T2 (10,6) e T5 (8,5), respectivamente.

Tabela 6- Crescimento médio em altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D de mudas de *E. dunnii*, produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro, ao longo dos tempos de avaliação

Tempo (dias)	H (cm)	D (mm)	H/D
TA	4,45 c	0,62 c	7,2 b
TB	18,58 b	1,76 b	10,5 a
TC	25,96 a	2,38 a	10,9 a
CV (%)	11,74	8,84	7,17
D.M.S	1,54	0,11	0,55
F calculado	649,73**	818,41**	179,51**
Tratamentos	H (cm)	D (mm)	H/D
T1	15,34	1,55	9,3
T2	18,66	1,62	10,6
T3	17,54	1,64	10,0
T4	14,25	1,47	8,9
T5	13,64	1,42	8,5
T6	14,17	1,37	9,6
T7	16,79	1,69	9,3
T8	16,97	1,58	9,7
T9	16,56	1,65	9,5
T10	19,37	1,88	9,9
CV (%)	24,61	16,96	12,61
D.M.S	9,19	0,62	2,74
F calculado	1,40 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,50 ^{ns}

TA: 30 dias após a emergência (DAE); TB: 60 DAE; TC: 90 DAE. T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + bio-sólido. H: Altura; D: Diâmetro do coleto; H/D: Relação altura e diâmetro do coleto. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey. CV= coeficiente de variação; D.M.S: diferenças mínimas significativas. ** Significativo a 1% pelo teste F; n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

Aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi observado os parâmetros morfológicos das mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro.

Constatou-se que não houve efeito significativo ($p < 0,05$) para os parâmetros estudados (Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9).

Para as mudas estarem aptas ao plantio, são recomendados alguns padrões de qualidade das mudas. Wendling e Dutra (2010), descrevem que as mudas devem apresentar valores entre 15 e 25 cm de altura (H) e no mínimo 2 mm de diâmetro do coleto (D). Na Tabela 7, é possível observar que apenas as mudas dos tratamentos T1, T4 e T9, apresentaram valores de H sugeridos pelos autores, já o D, todos os tratamentos proporcionaram médias descritas como ideais. Mudanças com maiores D, apresentam-se mais tenras e promovem maior resistência quanto ao tombamento e acamamento das mudas (VLADAN et al., 2016).

Tabela 7- Crescimento médio em altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR), massa seca total (MST) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas de *E. dunnii*, produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, em viveiro, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas

Tratamentos	H (cm)	D (mm)	H/D	MSPA (g)	MSR (g)	MST (g)	IQD
T1	22,38	2,44	9,2	0,59	0,14	0,72	0,05
T2	31,88	2,61	12,4	0,99	0,20	1,19	0,07
T3	26,88	2,43	11,1	0,89	0,19	1,08	0,07
T4	23,38	2,25	10,4	0,64	0,12	0,76	0,05
T5	26,38	2,32	11,3	0,73	0,14	0,87	0,05
T6	26,75	2,35	11,4	0,60	0,14	0,75	0,05
T7	25,50	2,61	9,9	0,77	0,18	0,95	0,07
T8	27,63	2,36	11,7	0,80	0,17	0,97	0,06
T9	24,63	2,63	9,4	0,91	0,18	1,10	0,08
T10	30,13	2,94	10,3	1,04	0,24	1,28	0,09
CV (%)	14,68	10,84	10,21	25,53	29,07	25,70	27,05
D.M.S	15,44	1,07	4,33	0,80	0,20	0,98	0,07
F calculado	1,09 ^{n.s.}	1,17 ^{n.s.}	1,79 ^{n.s.}	1,24 ^{n.s.}	1,06 ^{n.s.}	1,21 ^{n.s.}	1,22 ^{n.s.}

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. H: Altura; D: Diâmetro do coleto; H/D: Relação altura e diâmetro do coleto; MSPA: Massa seca da parte aérea; MSR: Massa seca radicular; MST: Massa seca total; IQD: Índice de qualidade de Dickson. CV= coeficiente de variação; DMS: diferenças mínimas significativas. n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

A utilização do vermicomposto como adubação de base nos tratamentos T1 a T6, não influenciou significativamente no crescimento em altura das mudas de *E. dunnii*. Diferente de Souza et al. (2018), que observaram incremento em altura de mudas de pitangueira, com a utilização de húmus de minhoca.

Quanto a relação H/D, que determina o acúmulo de reservas, os valores considerados na faixa adequada encontram-se entre 5,4 e 8,1 (KRATZ; WENDLING, 2016). No entanto, alguns trabalhos recentes realizados, apresentaram resultados satisfatórios na qualidade de mudas de eucalipto com valores de H/D entre 8,5 e 11,9 (DELLAI et al., 2018; SILVA et al., 2018), assim como, os resultados apresentados no presente trabalho.

A matéria seca é um importante parâmetro indicativo de rusticidade e estimativa de sobrevivência das mudas (GOMES et al., 2013), assim, as mudas com maior biomassa apresentam maior resistência a condições adversas do campo (GOMES et al., 2002). As mudas dos tratamentos T2 e T10, apresentaram maiores valores de massa seca de parte aérea (MSPA), massa seca de raiz (MSR) e massa seca total (MST).

Segundo Gomes e Paiva (2011) o índice de qualidade de Dickson (IQD) deve ter o valor mínimo de 0,20. Observando a Tabela 7, nenhum tratamento analisado proporcionaram os valores sugeridos pelos autores, no entanto, o IQD pode variar de acordo com a espécie, substrato, manejo e tempo de avaliação das mudas (CALDEIRA et al., 2002). Resultados semelhantes foram observados por Binotto (2007) em mudas de *Eucalyptus grandis*, aos 120 dias (IQD: 0,05).

Na Tabela 8, é possível observar a Facilidade de retirada do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AGR), área foliar (AF) e número de folhas (NF) das mudas *E. dunnii*.

Em relação a qualidade do torrão, é possível verificar que, apesar de não observar diferença significativa entre os tratamentos, todos apresentaram altos valores, acima de 8, indicativo de que a utilização do composto orgânico (C), proporcionou condições adequadas como substrato ou componente de substrato, assim como o substrato comercial (SC), proporcionaram boa agregação das raízes ao substrato, que segundo Wendling e Delgado (2008), um substrato com um torrão firme, é importante para fins de transporte ou plantio, pois, um substrato que se desintegre quando retirada a embalagem, ocasiona a exposição das raízes ao ressecamento, e pode dificultar o pegamento e sobrevivência das mudas, e ao contrário, um substrato com o torrão muito firme, na retirada da muda da embalagem, pode ocasionar danos as raízes.

Tabela 8 - Facilidade de retirada do tubete (FRT), agregação das raízes ao substrato (AGR), área foliar (AF) e número de folhas (NF) de mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, aos 90 dias após a emergência (DAE) das plântulas

Tratamentos	FRT	AGR	AF (cm ²)	NF
Nota (0-10)				
T1	10,0	9,3	116,79	36
T2	9,8	9,8	182,25	38
T3	8,5	9,5	172,49	32
T4	9,3	8,3	125,22	35
T5	9,5	8,3	133,59	31
T6	9,0	8,0	123,51	25
T7	9,5	9,8	133,98	30
T8	9,8	9,0	142,95	31
T9	10,0	9,5	144,29	32
T10	10,0	9,8	181,96	41
CV (%)	4,78	7,08	24,29	29,63
D.M.S	1,84	2,60	140,13	38,72
F calculado	2,34 ^{n.s.}	3,03 ^{n.s.}	0,96 ^{n.s.}	0,44 ^{n.s.}

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. FRT: Facilidade de retirada do tubete; AGR: Agregação das raízes; AF: Área foliar; NF: Número de folhas. CV= coeficiente de variação; DMS: diferenças mínimas significativas. n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

Segundo Taiz e Zeiger (2017), a AF e NF está associado ao desenvolvimento da planta, fundamental para o processo de fotossíntese, para acúmulo de reserva e formação de novos tecidos. Os tratamentos T2 e T10, apresentaram as maiores médias.

Wendling e Dutra (2017), descrevem que, é difícil um substrato composto por apenas um material, apresente todas as características desejáveis para a produção das mudas.

Dessa forma, apesar de não constatada significância nos parâmetros avaliados, é possível observar que os tratamentos com 100% de composto orgânico (C) ou com a presença em maiores proporções do C e com adubação de base orgânica (vermicomposto), proporcionaram resultados satisfatórios as mudas, embora que, quando comparado aos tratamentos com maior proporção de substrato comercial (SC), apresentou valores inferiores.

No entanto, a maior parte dos resultados, seguiram as referências da literatura. Isso devido, aos compostos orgânicos proporcionarem melhora nas características físicas dos substratos e consequentemente no crescimento e qualidade das mudas. Resultados que corroboram com os obtidos por Caldeira et al. (2013).

4.3.3 Condução em Campo

Ao longo do tempo, quinzenalmente, foram observados os parâmetros morfológicos das mudas, quanto à altura da parte aérea (H) e o diâmetro do coleto (D), no qual foi possível determinar a relação H/D, conforme apresentado nas Figuras: 11, 12 e 13, respectivamente.

Observou-se interação significativa ($p < 0,05$) entre os substratos formulados e os tempos de avaliação para os parâmetros de altura (H), diâmetro do coleto (D) e relação H/D (Figura 11, Figura 12 e Figura 13).

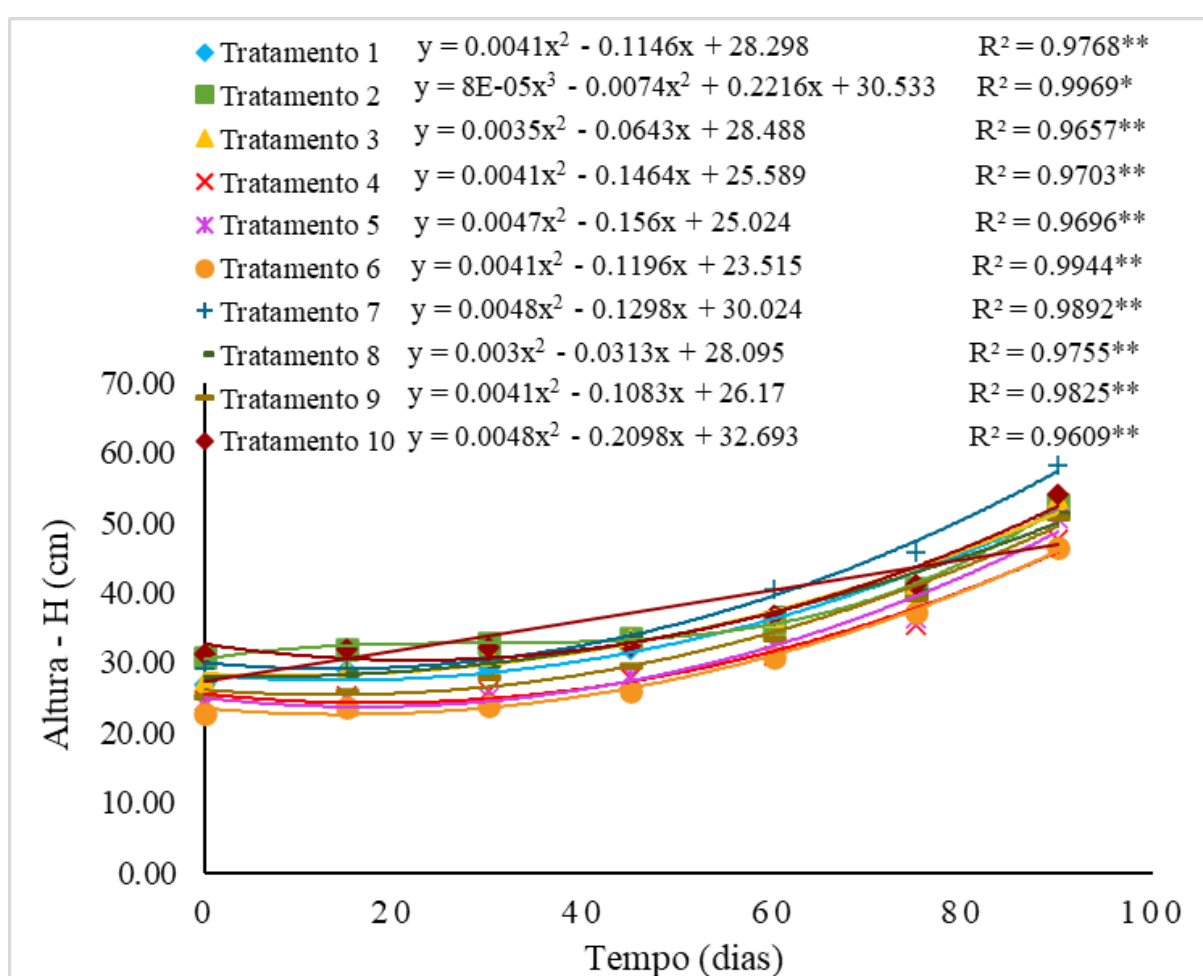


Figura 11- Crescimento em altura (H) de mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. R²: Coeficiente de determinação. * Significativo a 5% pelo teste F; ** Significativo a 1% pelo teste F.

É possível observar que os valores de crescimento em altura (H), se comportaram de maneira similar nas diferentes formulações de substratos (tratamentos estudados). O comportamento foi cúbico crescente apenas para o Tratamento 2 (T2) e quadrático crescente para os demais tratamentos (T1, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9 e T10) (Figura 11). O maior valor de altura (H), foi obtido no tempo de avaliação aos 90 dias após o plantio (DAP), no tratamento T7 (H=58,25 cm) e apresentou um incremento de 99,97% em relação à altura (H) observada no dia do plantio (29,13 cm), e a menor média foi observada no tratamento T6 (H= 46,38 cm).

Já na Figura 12, é possível observar valores de diâmetro do coleto (D), se comportaram de maneira similar nas diferentes formulações de substratos.

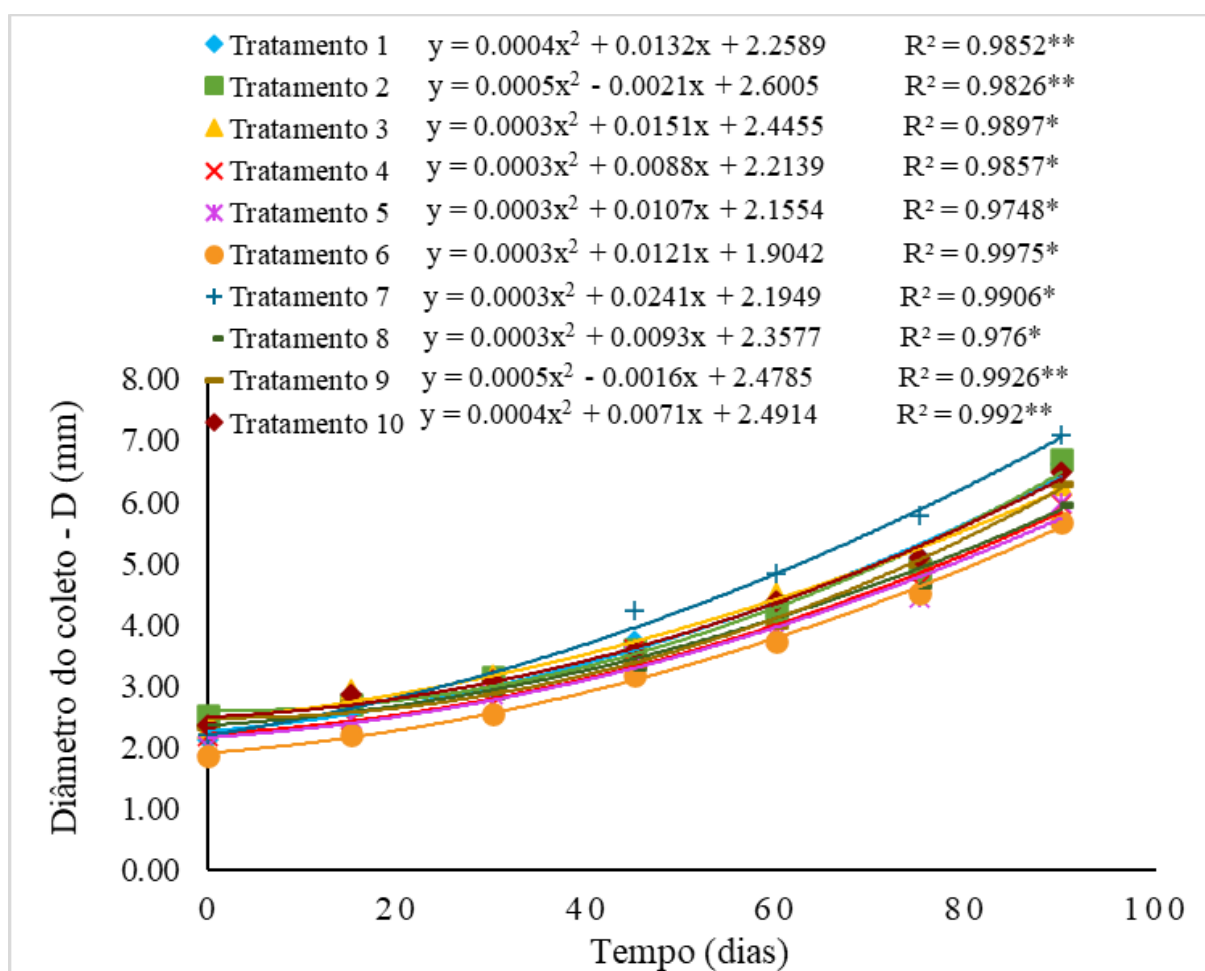


Figura 12- Diâmetro do coleto (D) de mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. R²: Coeficiente de determinação. * Significativo a 5% pelo teste F; ** Significativo a 1% pelo teste F.

O comportamento foi quadrático crescente para todos os tratamentos (Figura 12). O maior valor de diâmetro do coleto (D), foi obtido no tempo de avaliação aos 90 dias após o plantio (DAP), no tratamento T7 (D=7,09 mm) apresentando um incremento de 223,74% em relação ao diâmetro do coleto (D) observado no dia do plantio (2,19 mm) e a menor média foi observada no tratamento T6 (D= 5,66 mm).

E na Figura 13, é possível observar os valores da relação H/D.

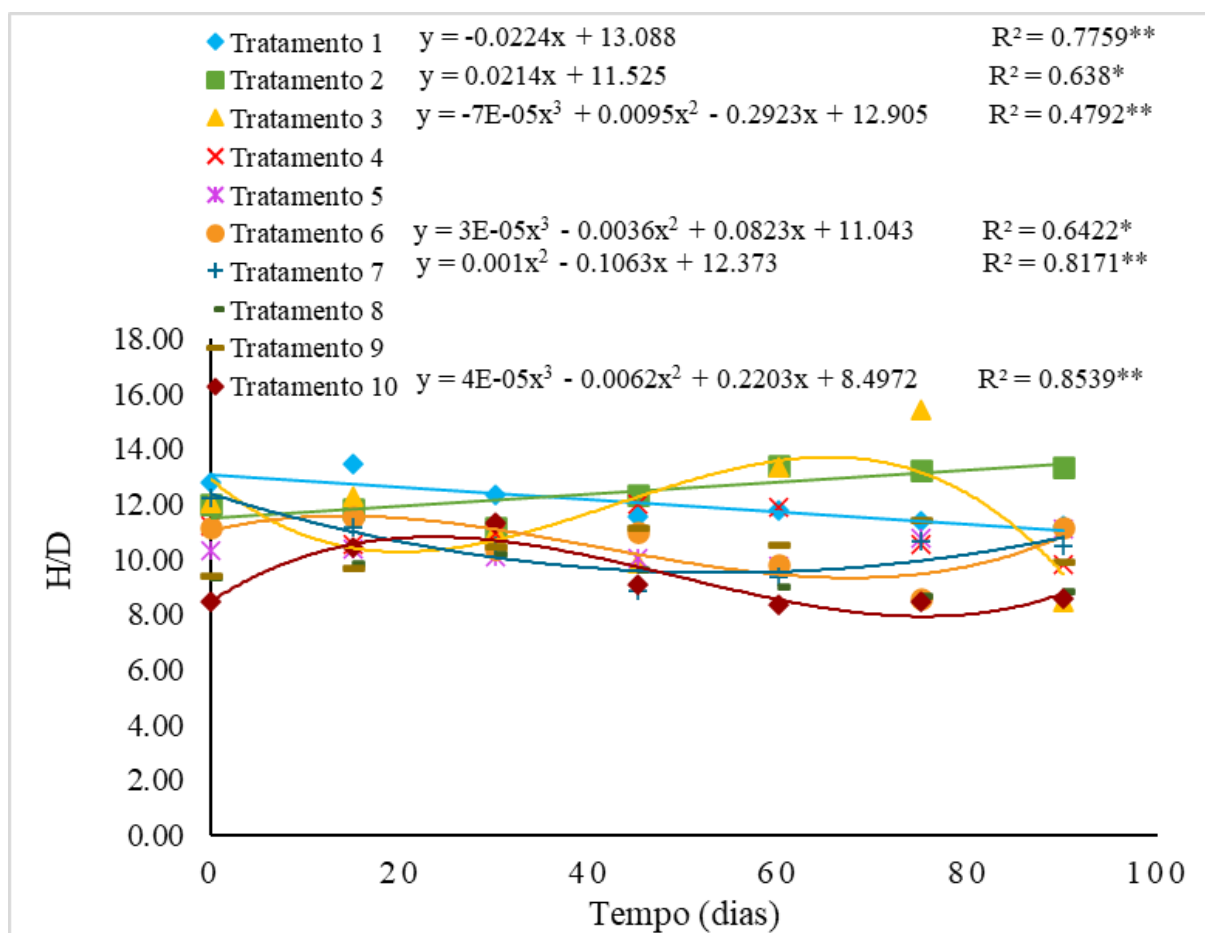


Figura 13- Relação altura e diâmetro do coleto (H/D) de mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, na fase de campo.

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. R^2 : Coeficiente de determinação. * Significativo a 5% pelo teste F; ** Significativo a 1% pelo teste F.

O comportamento foi linear para os tratamentos T1 (linear decrescente) e T2 (linear crescente), quadrático para o tratamento T7, cúbico para os tratamentos T3, T6 e T10. Os tratamentos T4, T5, T8 e T9 não apresentaram efeito significativo ($p < 0,05$), neste caso, nenhum

modelo se ajustou aos pontos. O maior valor da relação H/D, no tempo de avaliação aos 90 dias após o plantio (DAP), foi no tratamento T2 (H/D= 13,35) e menor média observada no tratamento T3 (H/D= 8,50).

Os tratamentos T4, T5, T8 e T9 no tempo de avaliação aos 90 dias após o plantio (DAP), apresentaram valores médios de H/D $y = (9,83; 11,10; 8,88 \text{ e } 9,95)$, respectivamente.

De acordo com Gomes et al. (2002), a avaliação da altura e diâmetro do coleto (D) das mudas em campo, são fundamentais para determinar o desempenho das plantas, pois os resultados obtidos em viveiro podem não demonstrar o melhor comportamento das mudas em campo (VALLONE et al., 2009).

No presente estudo, as mudas que apresentaram melhor desempenho em campo, com maior incremento em H e D, aos 90 dias do plantio, foram do tratamento T7 (75% C + 25% SC + AC), isso deve-se a qualidade do substrato, que apresentou as características físicas e químicas mais próximas ou nos limites estabelecidos pela literatura, para determinar um substrato adequado para produção das mudas, visto que a maior proporção do composto orgânico adicionado ao substrato comercial, proporcionou melhores condições para o estabelecimento das mudas em campo.

Silva et al. (2014), avaliando mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos, obtiveram resultados satisfatórios para o diâmetro do coleto (D), em proporção de 50% composto orgânico, proveniente de resíduos agroindustriais + 50% de substrato comercial, em relação a 100% composto orgânico.

A Tabela 9, apresenta os resultados de taxa de sobrevivência das mudas, obtidos aos 90 dias após o plantio (DAP) das mudas em campo.

Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) entre as formulações dos substratos (tratamentos) sobre os parâmetros das mudas: número de mudas mortas, porcentagem de mudas mortas e taxa de sobrevivência (%).

De acordo com Gomes et al. (2002), o aumento da taxa de sobrevivência das mudas, resultam do melhor padrão de qualidade destas. Em termos de sobrevivência todos os substratos estudados são semelhantes. Isso sugere que, apesar dos substratos não apresentarem todas as características desejáveis, proporcionaram resultados satisfatórios no estabelecimento das mudas em campo.

Tabela 9 – Número de mudas mortas, mudas mortas (%) e taxa de sobrevivência (%) de mudas de *E. dunnii* produzidas em substratos formulados com diferentes proporções de composto orgânico e substrato comercial, aos 90 dias após o plantio (DAP) das mudas, em campo

Tratamentos	Nº mudas mortas	Mudas mortas (%)	Taxa de sobrevivência (%)
T1	0	0,00	100,00
T2	1	4,17	95,83
T3	2	12,50	87,50
T4	1	8,33	91,67
T5	0	0,00	100,00
T6	3	20,83	79,17
T7	2	12,50	87,50
T8	2	12,50	87,50
T9	1	8,33	91,67
T10	2	12,50	87,50
CV (%)	-	-	14,92
D.M.S	-	-	55,00
F calculado	-	-	0,45 ^{n.s.}

T1: 100% composto orgânico (C) + adubação de base orgânica (vermicomposto (V)); T2: 75% C + 25% substrato comercial (SC) + V; T3: 50% C + 50% SC + V; T4: 25% C + 75% SC + V; T5: 100% SC + V; T6: 100% C + adubação de base química (adubo comercial (AC)); T7: 75% C + 25% SC + AC; T8: 50% C + 50% SC + AC; T9: 25% C + 75% SC + AC; T10: 100% SC + AC. Composto orgânico (C): produzido a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Vermicomposto (V): adubo orgânico a base de resíduos urbanos + mexilhão dourado. Resíduos urbanos: poda de árvore + resíduos vegetais (restos de frutas, legumes e verduras) + biossólido. CV= coeficiente de variação; DMS: diferenças mínimas significativas. n.s.= não significativo a 1% e 5% pelo teste F.

Resultados que confirmam, após a avaliação em campo, a possibilidade de utilizar o composto orgânico como substrato na produção das mudas, pelas características apresentadas de padrão de qualidade das mudas nas duas situações de viveiro e campo. Em razão disso, torna-se necessário o monitoramento em campo, pois os fatores ambientais possibilitam observar e confirmar as diferenças no viveiro e campo e melhoria das técnicas de produção (GASPARIN et al., 2014).

4.4 CONCLUSÕES

Os substratos formulados com maior proporção de composto orgânico ou como componente único apresentaram características favoráveis de densidade, porosidade, capacidade de retenção de água e nutrientes para o crescimento inicial das mudas de *Eucalyptus dunnii* Maiden em viveiro e seu estabelecimento em campo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRITEMPO. **Pesquisa de dados meteorológicos para o estado do PR**. Disponível em: <<https://www.agritempo.gov.br/agritempo/jsp/PesquisaClima/index.jsp?siglaUF=PR>> Acesso em: 10 set. 2020.
- ALMEIDA, L. S. Avaliação morfológica de mudas de *Allophylus edulis* (a. st.-hil., a. juss. & cambess.) radl. (vacum) e *Schinus terebinthifolius raddi* (aroeira) produzidas em diferentes substratos. 2005. 105 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. D. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- APARECIDO, L. E. O.; ROLIM, G. S.; RICHETTI, J.; SOUZA, P. S.; JOHANN, J. A. Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia (Online)**, Lavras, v. 40, n. 4, p. 405-417, 2016.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 18 ed. Gaithersburg, M.D: AOAC, 2005. 3000p.
- BAYERLE, D.F.; NUNES, R.V.; GONÇALVES JR., A.C.; WACHHOLZ, L.; SCHERER, C.; SILVA, I.M.; OLIVEIRA-BRUZEL, T.M.; VARGAR JR., J.G. Golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in feed for broiler chicks using tannin as a sequestrant of toxic metals. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 38, n. 2, p. 843-854, 2017.
- BINOTTO, A. F. Relação entre variáveis de crescimento e o índice de qualidade de Dickson em mudas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Pinus elliottii* var. *elliottii* – Engelm. 2007. 53 f.: Il. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução normativa SDA n. 17**. Métodos analíticos oficiais para análise de substratos para plantas e condicionadores de solo. Diário Oficial da União, Brasília, DF (2007 maio 24).
- BUNT, A. C. **Media and mixes for container-grown plants**. London: Unwin and Hyman, Cap. 4: Principles of nutrition. 1988. 309 p.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; PERONI, L.; GONÇALVES, E. D. O.; SILVA, A. G. D. Lodo de esgoto e vermiculita na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 43, n. 2, p. 155-163, 2013.
- CALDEIRA, M. V. W.; RONDON NETO, R. M.; SCHUMACHER, M. V. Avaliação da eficiência nutricional de três procedências australianas de acácia-negra (*Acacia mearnsii* De Wild.). **Revista Árvore**. v. 26, p. 615-620, 2002.
- CONTE, A. M.; MARQUES, R. D.; REIS, A. S.; VIECELI, T. H. A. Colunas de lixiviação com solos de texturas arenosa e argilosa e aplicação de biossólido. **Scientia Agraria Paranaensis**, v. 16, n. 3, p. 302-307, 2017.

COSTA, A. R. S.; XIMENES, T. C. F.; XIMENES, A. F.; BELTRAME, L. T. C. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos. **Revista Geama**, p. 246-260, 2015.

CRUZ, C.D. GENES - a software package for analysis in experimental statistics and quantitative genetics. **Acta Scientiarum**. v.35, n.3, p.271-276, 2013.

DA COSTA, A. N.; DA COSTA, A. F. S.; CAETANO, L. C. S. **Aspectos químicos e físicos da disposição do lodo de ETE no solo**. p.32-35, 2015. Disponível em: <cap4lodoesgoto.pdf (incaper.es.gov.br)>. Acesso em: 26 mai. 2021.

DE BOODT, M.; VERDONCK, O. The physical properties of the substrates in horticulture. **Acta Horticulturae**, Wageningen, v.26, p.37-44, 1972.

DELLAI, A.; SILVA, R. F.; ANDREAZZA, R. Ectomicorriza no crescimento de Eucalyptus saligna em solo contaminado com cobre. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 624-631, 2018.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forestry Chronicle**, v. 36, n. 8, p. 10-13, 1960

DOMÍNGUEZ, J.; LAZCANO, C.; GÓMEZ-BRANDÓN, M. Influencia del vermicompost en el crecimiento de las plantas. Aportes para la elaboración de un concepto objetivo. **Acta Zoológica Mexicana**, 26 (2): 359–371, 2010.

DUMROESE, R. K.; HEISKANEN, J.; ENGLUND, K.; TERVAHAUTA, A. Pelleted biochar: chemical and physical properties show potential use as a substrate in container nurseries. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, p. 2018-2027, 2011.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Transferência de Tecnologia Florestal. **O Eucalipto**, dez. 2019.

FERMINO, M. H. **Aproveitamento de resíduos industriais e agrícolas como alternativas de substratos hortícolas**. 1996. 91 p. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Agronomia, Universidade Federal Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1996.

FERMINO, M. H. **Substratos: composição, caracterização e métodos de análise**. Guaíba: Agrolivros, 2014. 111p.

FERMINO, M. H. Uso da análise física na avaliação da qualidade de componentes e substratos. In: FURLANI, A.M.C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, p.29-37, 2002.

GASPARIN, E.; AVILA, A. L. D.; ARAUJO, M. M.; CARGNELUTTI, A.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de Cabralea canjerana (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 553-563, 2014.

GOMES, D. R.; CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; GONÇALVES, E. D. O.; TRAZZI, P. A. Lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Tectona grandis* L. **Cerne**, v. 19, n. 1, p. 123 - 131, 2013.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**: propagação sexuada. Viçosa, MG: UFV, 2011. 116 p. (Série Didática).

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

GONÇALVES, J. L. M.; POGGIANI, F. Substratos para produção de mudas florestais. In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13. Águas de Lindóia, 1996. **Resumos do Congresso Latino-Americano de Ciência do solo**. Piracicaba, Sociedade Latino-Americana de Ciência do Solo, CD-ROM, 1996.

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

GOOGLE EARTH. Google Earth Versão 7.3.1. 2018. **Coordenadas geográficas**. Acesso em: 10 jun. 2021.

HEISKANEN, J. Effects of compost additive in sphagnum peat growing medium on Norway spruce container seedlings. **New Forests**, n. 44, p. 101-118, 2013.

HOFFMANN, G. Verbindliche Methoden zur Untersuchung von TKS und Gartnerischen Erden. **Mitteilubngen der VDLUFA**, Heft, v. 6, p. 129-153, 1970.

ILANI, T.; HERRMANN, I.; KARNIELI, A.; ARYE, G. Characterization of the biosolids composting process by hyperspectral analysis. **Waste Management**. Sede Boker Campus, Israel. v. 48, p. 106- 114. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA) (Brasília, DF). **Plano nacional de prevenção, controle e monitoramento do mexilhão-dourado (*Limnepherna fortunei*) no Brasil**. Brasília, DF: IBAMA, 2020. 159 p.

KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**: Relações Solo-Planta. São Paulo: Ceres, 1979. 263 p.
KÄMPF, A. N. Substrato. In: KÄMPF, A. N. **Produção comercial de plantas ornamentais**. 2ª edição, Guaíba: Agrolivros, 2005. p. 45 - 72.

KLEIN, C. Utilização de substratos alternativos para produção de mudas. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**. V. 4, n. 3, p. 43-63, 2015.

KLEIN, C.; V., J.; CALVETE, E. O.; KLEIN, V. A. Caracterização química e física de substratos para a produção de mudas de alface. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 18, n. 2, p. 110-117, 2012.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Crescimento de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* em substratos à base de casca de arroz carbonizada. **Ceres**, v. 63, n. 3, p. 348-354, 2016.

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

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. D. Substratos renováveis na produção de mudas de *Eucalyptus benthamii*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n.4, p. 607-621, 2013b.

LOPES, L. C. A.; SANTOS, A. J. M.; BACKES, C.; DA LUZ SILVA, L.; MAGALHÃES, Â. F. Desenvolvimento florestal em sistema integrado lavoura-pecuária-floresta. **Scientific Electronic Archives**, v. 14, n. 11, 2021.

LORENZI, H.; SOUZA, H.; TORRES, M.; BACHER, L. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 384 p.

MARTÍNEZ, P. F. Manejo de substratos para horticultura. IN: FURLANI, A. M. C. et al. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para a produção de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas. 2002. p. 53-76.

REIS, G. M.; RIBEIRO JR, J. I. Comparação de testes paramétricos e não paramétricos aplicados em delineamentos experimentais. In: III Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção, 2007, Viçosa. **Anais do III Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção**, 2007.

RIBEIRO, M. C. P.; NADAL, C. P.; ROCHA JUNIOR, W. F.; FRAGOSO, R. M. S.; LINDINO, C. A. Institutional and Legal Framework of the Brazilian Energy Market: Biomass as a Sustainable Alternative for Brazilian Agribusiness. **Sustainability**, v. 12, n. 4, p. 1554, 2020.

RITCHIE, G. A. et al. Assessing plant quality. Seedling Processing, Storage, and Outplanting. v. 7, Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 2010. 200 p. **Agric. Handbk**, V. 674, 2010.

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido**. Jaboticabal: FUNEP, 2002.

Santos, H. G.; Jacomine, P. K. T.; Anjos, L. H. C.; Oliveira, V. A.; Lumbreras, J. F.; Coelho, M. R.; Almeida, J. A.; Araujo Filho, J. C.; Oliveira, J. B.; Cunha, T. J. F. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, Embrapa. p. 356, 2018.

SCHMITZ, J. A. K.; SOUZA, P. V. D.; KÄMPF, A. N. Propriedades químicas e físicas de substratos de origem mineral e orgânica para o cultivo de mudas em recipientes. **Ciência Rural**, v. 32, n. 6, p.937-944, 2002.

SILVA F.A.M.; NUNES G.M.; ZANON A.; GUERRINI I.A.; SILVA R. B. Resíduo agroindustrial e lodo de esgoto como substrato para a produção de mudas de *Eucalyptus urograndis*. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 827-835, 2018.

SILVA, F. C. **Manual de análises de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos, 1999. 370p.

SILVA, R. F.; EITELWEIN, M. T.; CHERUBIN, M. R.; FABBRIS, C.; WEIRICH, S.; PINHEIRO, R. R. Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* em substratos orgânicos alternativos. **Ciência Florestal**, v. 24, p. 609-619, 2014.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS) Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 2019. Pág. 132

SOUZA, S. C.; FERREIRA S.; DA SILVA, E. L. C.; DE OLIVEIRA, E. R. Avaliação de substratos orgânicos na produção de mudas de pitangueira. In: **10ª Jornada Científica e Tecnológica e 7º Simpósio da Pós-Graduação do IFSULDEMINAS**. ISSN: 2319-0124, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017, 858 p.

TOLEDO, F. H. S. F.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; DIAS, B. A. S.; SILVA, I. M. M.; NEVES, Y. Y. B.; NASCIMENTO, G. O.; CARLOS, L. Influência da qualidade química do substrato no teor de nutrientes em folhas de mudas de eucalipto. **Ecologia e Nutrição Florestal**, Santa Maria-RS, v.1, n.2, p.89-96, 2013.

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

VALE, F. X. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; LIBERATO, J. R. QUANT - A software plant disease severity assessment. In: International Congress of Plant Pathology, 8th, 2003, Christchurch. **Anais 8th international congress of plant pathology**, New Zealand, 2003. p.105.

VALLONE, H. S.; GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.; DIAS, F. P.; CARVALHO, A. M. Recipientes e substratos na produção de mudas e no desenvolvimento inicial de cafeeiros após o plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p. 1327-1335, 2009.

VLADAN, I.; JOVANA D.; ZORAN, M. Initial height and diameter are equally related to survival and growth of hardwood seedlings in first year after field planting. **Reforesta**, v. 1, n. 2, 2016.

WENDLING, I.; DELGADO, M. E. **Produção de mudas de araucária em tubetes**. Colombo: Embrapa Florestas, 2008. 8 p. (Comunicado Técnico 201, Embrapa Florestas).

WENDLING, I.; DUTRA, L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Brasília: Embrapa Florestas, 2017.

WENDLING, I.; DUTRA L. F. Produção de mudas de eucalipto por sementes. In: WENDLING, I.; DUTRA L. F. **Produção de mudas de eucalipto**. Colombo, Embrapa Florestas. p.13-47., 2010.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas de espécies lenhosas**. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 1 CD-ROM. (Embrapa Florestas. Documentos, 130).

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

WELZ, B.; SPERLING, M. **Atomic absorption spectrometry**. Ed. Weinheim: Wiley-VCH, 1999.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de substratos alternativos na produção de mudas florestais, faz-se cada vez mais necessário, visto o crescimento no setor florestal e maior demanda.

A utilização de técnicas como a compostagem e vermicompostagem, são eficientes na transformação de resíduos orgânicos, principalmente os produzidos localmente, em compostos e adubos de qualidade, e se apresentam como uma alternativa viável, sustentável e de baixo custo, para destinação adequada dos resíduos potencialmente poluidores como, biossólido e mexilhão dourado (*Limnoperna fortunei*), na produção de mudas de *E. dunnii*.

Sugere-se para estudos futuros, a utilização da solução de microrganismos eficazes (E.M's), em diferentes proporções na compostagem, para avaliar sua influência na estabilização dos resíduos, e a avaliação dos substratos alternativos em espécies nativas.