

## **AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS POR MEIO DA COMPOSTAGEM COM PRESENÇA DE EMBALAGEM COMPOSTÁVEL**

André Sabel Toro

Orientador: Dr. Marlon André Capanema

2015/2



André Sabel Toro

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
ORGÂNICOS POR MEIO DA COMPOSTAGEM COM  
PRESENÇA DE EMBALAGEM COMPOSTÁVEL**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para a Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
Orientador: Dr. Marlon André Capanema

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Toro, André Sabel

Avaliação da degradação de resíduos sólidos orgânicos por meio da compostagem com presença de embalagem compostável / André Sabel Toro ; orientador, Marlon André Capanema - Florianópolis, SC, 2015.

87 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Compostagem. 3. Degradação. 4. Embalagem compostável. 5. Polímero biodegradável compostável. I. Capanema, Marlon André. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

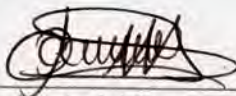
André Sabel Toro

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
ORGÂNICOS POR MEIO DA COMPOSTAGEM COM  
PRESENÇA DE EMBALAGEM COMPOSTÁVEL**

Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental–TCC II

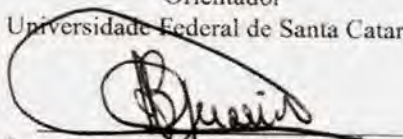
Florianópolis, dezembro de 2015.

**Banca Examinadora:**

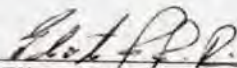


Marlon André Capanema, Dr.  
Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Armando Borges de Castilhos Junior, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof.<sup>a</sup> Elivete Carmen Clemente Prim, Dr.<sup>a</sup>.  
Instituto Federal de Santa Catarina





Este trabalho é dedicado aos meus pais, por sempre acreditarem nos meus sonhos.





## AGRADECIMENTOS

Com muita satisfação que agradeço aos meus pais, José e Rosi, pelo total incentivo a percorrer este difícil caminho. Meu pai, um exemplo de honestidade, bom caráter, serenidade e, acima de tudo, um pai perfeito. Minha mãe, espalhando amor, carinho e compaixão por onde quer que vá, sobretudo em mim. Dizem que temos um anjo no céu, concordo, mas também tenho um anjo na terra, o qual chamo de mãe.

Ao meu irmão, Arnaldo, meu fiel parceiro, amigo e conselheiro, independente da situação. Não existe amor entre irmãos maior que o nosso, proporcionado por suas atitudes de irmão mais velho muito incomuns, sem nunca termos trocado sequer uma palavra ofensiva. Trouxe à nossa família um amor de pessoa, que muito rápido nos conquistou, sua esposa Júlia.

À minha Bruna, minha linda, meu amor e companheira, que mesmo nos momentos mais difíceis desta árdua caminhada, mostrou-se firme e forte, dando apoio e incentivo para que tudo desse certo. Um presente que veio até mim e que muito me ensinou, principalmente a amar.

Às minhas avós, Maria e Helena, por sempre me incentivarem a estudar e trabalhar. Vó Maria, minha eterna e melhor professora, dos estudos e filosofias, com uma mente muito a frente do seu tempo. Vó Helena, exemplo de força e perseverança, ensinando-me que, tudo o que sou e pretendo ser, depende apenas de mim.

À Dinda, juntamente com meu padrinho Marrquinho, além de presentearem nossa família com a Sofia, muito me ajudaram para conclusão deste trabalho.

À toda minha família, por simplesmente estarem presentes em cada felicidade por mim alcançada.

À equipe Procomposto, em especial ao Américo, Godoy, Filipi, Gil, Rosângela e Guilherme, por me receberem, ajudarem e darem suporte para que este trabalho pudesse ser concretizado da melhor forma possível.

Ao meu orientador, Marlon, por acreditar na potencialidade deste trabalho, auxiliando-me em tudo o que fosse necessário, proporcionando-me muito conhecimento. Sempre presente, exigente, dedicado e muito qualificado.

À equipe do LARESO, em especial à Carina, Helga e José, por terem me acolhido e ajudado nas dificuldades encontradas nos laboratórios, e acima de tudo, pela paciência.

Aos meus colegas de faculdade, em especial à turma 10/02, pelo companheirismo nesta estrada de estudos, boas amizades e muita diversão. Para descrevê-la, a palavra certa é união.

Não posso deixar de agradecer aos meus colegas de COMCAP, principalmente ao Departamento Técnico, pois, além de todo aprendizado, despertaram meu interesse na área de resíduos.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Santa Catarina, esta instituição renomada, direção e administração, que oportunizaram o primeiro passo para um sonho que hoje está se tornando realidade. Ao curso de graduação em Engenharia em Sanitária e Ambiental e seu corpo docente, por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e efetividade da educação no processo de formação profissional.

Seja a mudança que você quer ver no mundo.  
(Mahatma Gandhi)



## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a degradação dos resíduos sólidos orgânicos pelo processo de compostagem, com a presença de embalagens compostáveis. Para isso, adotou-se como alicerce a elaboração de duas leiras de compostagem, uma com e a outra sem embalagem compostável, em escala piloto. Nestas, acompanhou-se por meio de monitoramentos periódicos, o comportamento durante o processo de compostagem. Outro fator avaliado neste período foi a degradação das embalagens compostáveis, confirmando se há ou não a desintegração do material, bem como em quanto tempo. Quando finalizadas as leiras, submeteu-se os produtos finais à ensaios laboratoriais físico-químicos, para melhor quantificar as possíveis alterações causadas pelas embalagens compostáveis. Com os resultados, comparou-se as amostras, com e sem embalagens compostáveis, sabendo-se então, se estas alteram de forma significativa nas propriedades do fertilizante orgânico composto. Além de fazer a comparação entre si, checkou-se os parâmetros obtidos com a normativa brasileira vigente, para saber se estão dentro dos limites aceitáveis das garantias estabelecidas. Assim, com todos esses resultados analisados, pôde-se concluir se as embalagens compostáveis interferem no processo de compostagem e no seu produto final.

**Palavras-chave:** Compostagem. Degradação. Embalagem Compostável. Polímero Biodegradável Compostável.



## ABSTRACT

The present work aims to evaluate the degradation of organic solid waste composting process, with the presence of compostable packaging. For this, adopted as foundation the development of two piles of composting, one with and the other without compostable packaging, on a pilot scale composting. In these, accompanied by periodic monitoring, behavior during the composting process. Another factor assessed in this period was the degradation of compostable packaging, confirming whether or not the disintegration of the material, as well as how soon. When finalized the piles, underwent the final products to the physical and chemical laboratory tests, to better quantify the possible alterations caused by compostable packaging. With the results, the samples were compared with and without compostable packaging, so if these change significantly in the properties of the organic compound fertilizer. In addition to the comparison between them, checked the parameters obtained with the Brazilian legislation, to know if they are within the acceptable limits of established guarantees. So, with all these results analyzed, could be concluded if the compostable packaging interferes in composting process and its end product.

**Keywords:** Composting. Degradation. Compostable Packing. Compostable Biodegradable Polymer.





## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABICOM – Associação Brasileira de Biopolímeros Compostáveis e Compostagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

EC – Embalagem Compostável

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IN – Instrução Normativa

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

LARESO – Laboratório de Resíduos Sólidos

LIMA – Laboratório Integrado de Meio Ambiente

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

NBR – Norma Brasileira

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSO – Resíduos Sólidos Orgânicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SERTE – Sociedade Espírita de Recuperação, Trabalho e Educação

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008 .....	33
Tabela 2: Especificações das garantias para fertilizantes orgânicos compostos. ....	55
Tabela 3: Densidade dos resíduos alimentícios utilizados nas leiras de compostagem. ....	58
Tabela 4: Quantidade aproximada de resíduos orgânicos utilizados em cada leira de compostagem. ....	66
Tabela 5: Resultados das análises de umidade dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	71
Tabela 6: Resultados das análises de pH dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	72
Tabela 7: Resultados das análises de nitrogênio total dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	73
Tabela 8: Resultados das análises de carbono orgânico dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	74
Tabela 9: Resultados das relações C/N dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	75
Tabela 10: Resultados das análises de capacidade de troca de cátions dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	77
Tabela 11: Resultados das análises da relação CTC/C dos fertilizantes orgânicos compostos. ....	78
Tabela 12: Comparativo dos resultados das análises laboratoriais com os limites do MAPA. ....	78



## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Temperatura e pH médios monitorados nas leiras de compostagem, com e sem embalagens compostáveis. ....	67
Gráfico 2: Histórico da precipitação e da umidade em Florianópolis desde 2010 até 2015, de junho a outubro.....	69



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, entre 2013 e 2014. ....	25
Figura 2: Coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil, entre 2013 e 2014. ....	26
Figura 3: Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para os anos 2000 e 2008.....	27
Figura 4: Ferramentas e recipientes utilizadas para aferição da densidade dos resíduos alimentícios. ....	42
Figura 5: Bombona vazia, com embalagem compostável. ....	43
Figura 6: Estruturação das leiras de compostagem.....	45
Figura 7: Ferramentas auxiliares para estruturação das leiras. ....	46
Figura 8: Variação típica de temperatura em processos de compostagem. ....	47
Figura 9: Ferramenta de monitoramento: termômetro.....	47
Figura 10: Ferramenta de monitoramento: pHmetro. ....	48
Figura 11: Locais das medições dos parâmetros de temperatura e pH no decorrer do processo de compostagem. ....	49
Figura 12: Resíduos utilizados na compostagem.....	57
Figura 13: Diferença entre recipientes com e sem o uso de embalagens compostáveis, após a retirada do material. ....	59
Figura 14: Foto da embalagem compostável testada, avulsa.....	60
Figura 15: Resquícios das embalagens compostáveis após 60 dias.....	61
Figura 16: Esquema das leiras de compostagem. ....	62
Figura 17: Funções das ferramentas usadas para construção das leiras. ....	62
Figura 18: Estruturação das leiras de compostagem.....	63
Figura 19: Abertura das leiras de compostagem para inclusão dos resíduos alimentícios.....	65
Figura 20: Locais dos monitoramentos nas leiras.....	66
Figura 21: Aspecto dos fertilizantes orgânicos compostos utilizados para as análises laboratoriais. ....	70





## SUMÁRIO

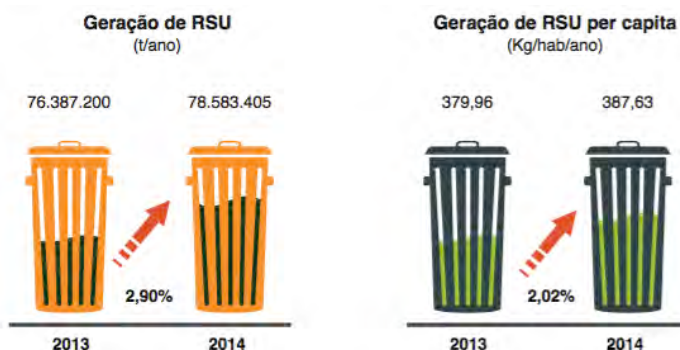
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>25</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	29
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	29
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>31</b>
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS .....	31
3.2	COMPOSTAGEM .....	34
3.3	BIODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA .....	36
3.4	POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS .....	37
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>41</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS .....	41
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO BIODEGRADÁVEL COMPOSTÁVEL TESTADO .....	43
4.3	CONSTRUÇÃO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM .....	44
4.4	MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM .....	46
4.5	CARACTERIZAÇÃO DO FERTILIZANTE ORGÂNICO COMPOSTO .....	49
<b>4.5.1</b>	<b>Métodos analíticos</b> .....	<b>50</b>
4.5.1.1	Umidade .....	50
4.5.1.2	pH .....	51
4.5.1.3	Nitrogênio total .....	51
4.5.1.4	Carbono orgânico .....	51
4.5.1.5	Relação C/N .....	52
4.5.1.6	Capacidade de Troca de Cátions (CTC) .....	52
4.5.1.7	Relação CTC/C .....	54
<b>4.5.2</b>	<b>Avaliação dos dados obtidos das análises laboratoriais</b> .....	<b>54</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>57</b>
5.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS .....	57
5.2	CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO BIODEGRADÁVEL COMPOSTÁVEL TESTADO .....	59
5.3	CONSTRUÇÃO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM .....	61
5.4	MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM .....	66
5.5	CARACTERIZAÇÃO DO FERTILIZANTE ORGÂNICO COMPOSTO .....	70
<b>5.5.1</b>	<b>Avaliação dos resultados laboratoriais</b> .....	<b>71</b>
5.5.1.1	Umidade .....	71
5.5.1.2	pH .....	72
5.5.1.3	Nitrogênio total .....	73
5.5.1.4	Carbono orgânico .....	74
5.5.1.5	Relação C/N .....	75
5.5.1.6	Capacidade de Troca de Cátions (CTC) .....	77

5.5.1.7	Relação CTC/C.....	77
5.5.2	<b>Quadro final dos dados laboratoriais e das tolerâncias para fertilizante orgânico composto. ....</b>	<b>78</b>
6	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>81</b>
	<b>REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Resíduos sólidos são “todos os resíduos decorrentes de atividades humanas e animais que normalmente são sólidos e que são descartados como inúteis ou indesejados” (Tchobanoglous, 1993 *apud* Da Costa, 2011). No Brasil, pesquisas mostram indicativos da tendência da geração dos resíduos sólidos urbanos (RSU), evidenciando o crescimento do total gerado e do quanto cada habitante contribui, como mostra a figura a seguir:

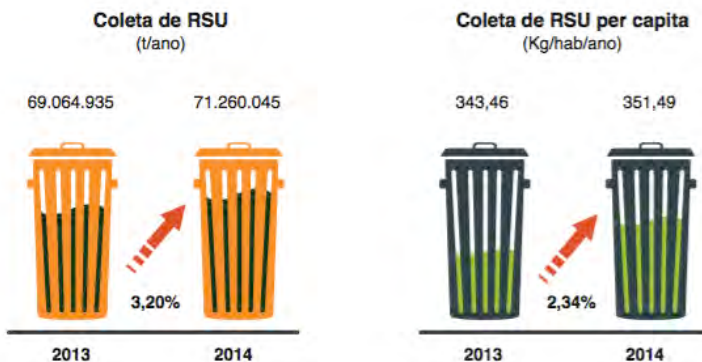
**Figura 1:** Geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil, entre 2013 e 2014.



Fonte: ABRELPE (2015).

Para toda essa geração de RSU, é necessário que haja coleta. Dados da ABRELPE (2015) indicam também que, no Brasil, a coleta de resíduos aumentou aproximadamente na mesma proporção que a geração de resíduos, conforme a figura 2.

**Figura 2:** Coleta de resíduos sólidos urbanos no Brasil, entre 2013 e 2014.



Fonte: ABRELPE (2015).

Analisando ambos os índices, vê-se não só o aumento da geração e da coleta dos RSU, mas também que a coleta no Brasil cobre 90% da população. Não cabe a nós simplesmente chegar aos 100%, mas também fazer com que toda essa geração de resíduos seja destinada de forma ambientalmente correta. Todavia, deve-se tomar como alicerce a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e destinação final ambientalmente saudável dos resíduos, conforme a Agenda 21 brasileira (Ministério do Meio Ambiente, 1992) e os objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os resíduos são separados em diferentes frações, as quais têm distintas destinações apropriadas, sendo as principais frações: recicláveis secos, recicláveis orgânicos e rejeitos. Conforme o Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), a composição gravimétrica dos RSU do Brasil indica que os resíduos sólidos orgânicos (RSO) ultrapassam os 50% do total de resíduos gerados, materiais estes, passíveis de tratamento biológico e fontes ricas de nutrientes que estão sendo perdidos, quando destinados de forma não sustentável.

Um dos métodos reconhecidos para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos é a compostagem, que segundo a NBR 13591 (ABNT, 1996), trata-se de um processo que decompõe biologicamente os RSO por diferentes tipos de organismos, quando feita de forma controlada. Não obstante, os dados que se tem das diferentes formas de destinação

dos RSU estão distantes do ideal, de modo que, em sua maioria, são desperdiçados quando enviados apenas à disposição final em aterros e vazadouros, conforme indica a figura a seguir:

**Figura 3:** Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para os anos 2000 e 2008.

Destino Final	2000		2008	
	Quantidade (t/d)	%	Quantidade (t/d)	%
Aterro sanitário	49.614,50	35,4	110.044,40	58,3
Aterro Controlado	33.854,30	24,2	36.673,20	19,4
Vazadouros a céu aberto (Lixão)	45.484,70	32,5	37.360,80	19,8
Unidade de compostagem	6.364,50	4,5	1.519,50	0,8
Unidade de triagem para reciclagem	2.158,10	1,5	2.592,00	1,4
Unidade de incineração	483,10	0,3	64,80	<0,1
Vazadouro em áreas alagáveis	228,10	0,2	35,00	<0,1
Locais não fixos	877,30	0,6	SI	
Outra unidade	1.015,10	0,7	525,20	0,3
<b>Total</b>	<b>140.080,70</b>		<b>188.814,90</b>	

Fonte: Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (2012).

De acordo com os dados da figura anterior, as unidades de compostagem não receberam nem se quer 1% da quantidade total de RSU do Brasil, e ainda obtiveram uma redução do ano de 2000 para 2008, respectivamente de 4,5% para 0,8%. Prova-se, dessa forma, que a compostagem vem sendo pouco explorada em nosso país, mas que ainda tem muito potencial de crescimento, principalmente pela quantidade de RSO disponíveis.

Uma das dificuldades encontradas relacionadas à compostagem, não é como este processo ocorre, mas sim como realizar o acondicionamento dos RSO de forma sanitariamente correta, a fim de preservar a saúde dos envolvidos e apresentar alto grau de sustentabilidade em toda sua cadeia.

Os RSO são classificados como resíduos classe II – não inertes por apresentarem propriedades de biodegradabilidade conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004). Assim sendo, seu acondicionamento pode ser realizado por contêineres e/ou tambores, em tanques e a granel, seguindo os termos da NBR 11174 (ABNT, 1990). Pode-se escolher por apenas depositar esses resíduos em tais recipientes, ou investir em outras

metodologias e tecnologias para aprimorar o acondicionamento. Assim como se utiliza sacolas plásticas para revestir lixeiras, já existem no mercado brasileiro as embalagens compostáveis (EC), produto este que tem a mesma função das sacolas plásticas, mas que é apresentado por ser ambientalmente sustentável, desde sua produção até o destino final.

Por conseguinte, este trabalho tem como principal foco a avaliação da degradação dos resíduos sólidos orgânicos, beneficiados e tratados via compostagem, com a presença de embalagens compostáveis. Para isso, foram adotados três alicerces: no primeiro, foram feitas análises e comparações do comportamento de leiras de compostagem com e sem embalagens compostáveis, com base em monitoramentos em função do tempo; no outro são elaboradas análises do fertilizante orgânico composto obtido dos experimentos em campo, com base em parâmetros de qualidade; por fim, foi feita a avaliação se o fertilizante orgânico composto está dentro dos padrões de qualidade, com base na normativa brasileira vigente.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar a degradação de resíduos sólidos orgânicos por meio da compostagem com a presença de embalagem compostável.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

São considerados objetivos específicos deste trabalho:

- a) Monitorar leiras de compostagem com e sem embalagem compostável;
- b) Analisar possíveis alterações dos parâmetros de qualidade dos fertilizantes orgânicos obtidos, pela presença de embalagens compostáveis;
- c) Avaliar a qualidade dos fertilizantes orgânicos obtidos de leiras com e sem embalagens compostáveis.





### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS

A Organização Mundial da Saúde define resíduos como “qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em um certo local e em um certo momento, e que não apresenta valor comercial corrente ou percebido” (Bidone, 2001). Já para a Diretiva 75/442/CEE (1975), resíduo é qualquer substância ou objeto que seu proprietário não mais o quer e está por se desfazer.

Os resíduos sólidos podem gerar diferentes definições de acordo com sua utilização, apresentado por Zilberman (1997) como “tudo aquilo que resulta das atividades do ser humano na sociedade e que, aparentemente, não possui mais ou deixou de ter utilidade”. Mais especificamente o autor Tchobanoglous (1993 *apud* Da Costa, 2011) acrescenta que os resíduos sólidos são “materiais heterogêneos descartados pela comunidade urbana, como também a acumulação mais homogênea de resíduos agrícolas, industriais e minerais”.

No entanto, ao se tratar de resíduos sólidos no âmbito nacional, a NBR 10004 (ABNT, 2004) e a PNRS (BRASIL, 2010) definem resíduos sólidos como todos aqueles resíduos nos estados sólidos e semissólidos que advêm das atividades humanas de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, inclusive também os resíduos provenientes de sistemas de tratamentos de ar e de água, abrangendo gases e líquidos incapacitados de serem lançados em corpos d’água e na rede pública de esgotos.

Há diferentes formas de se classificar os resíduos sólidos, os quais envolvem desde os processos e atividades que lhes deu origem, até seus constituintes e características, verificando assim, quais os possíveis potenciais de risco à saúde e ao meio ambiente.

Para tanto, a NBR 10004 (ABNT, 2004) os classificou quanto à periculosidade, nas seguinte classes:

*Resíduos classe I – Perigosos: Aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices, ou riscos ao*

*meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.*

*Resíduos classe II – Não perigosos: os resíduos não perigosos são subdivididos em 2 classificações, sendo elas:*

*Resíduos classe II A – Não inertes: estes resíduos podem apresentar propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. São classificados como aqueles resíduos que não se enquadram nas classificações de resíduos perigosos ou de resíduos inertes.*

*Resíduos classe II B – Inertes: quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, que caracteriza os padrões para o ensaio de solubilização.*

No entanto, a PNRS (BRASIL, 2010) em seu Art. 13, classifica-os quanto à origem nos diferentes resíduos a seguir:

- a) resíduos domiciliares: os originários de atividades domésticas em residências urbanas;*
- b) resíduos de limpeza urbana: os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;*
- c) resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;*
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;*

- e) *resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;*
- f) *resíduos industriais: os gerados nos processos produtivos e instalações industriais;*
- g) *resíduos de serviços de saúde: os gerados nos serviços de saúde, conforme definido em regulamento ou em normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama e do SNVS;*
- h) *resíduos da construção civil: os gerados nas construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, incluídos os resultantes da preparação e escavação de terrenos para obras civis;*
- i) *resíduos agrossilvopastoris: os gerados nas atividades agropecuárias e silviculturais, incluídos os relacionados a insumos utilizados nessas atividades;*
- j) *resíduos de serviços de transportes: os originários de portos, aeroportos, terminais alfandegários, rodoviários e ferroviários e passagens de fronteira;*
- k) *resíduos de mineração: os gerados na atividade de pesquisa, extração ou beneficiamento de minérios;*

Sabendo das classificações dos resíduos sólidos, e que estes são compostos por diferentes tipos de materiais, será apresentado na tabela a seguir, dados obtidos no ano de 2008 no Brasil.

**Tabela 1:** Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008

<b>Resíduos</b>	<b>Participação (%)</b>
Materiais recicláveis	31,9
Matéria orgânica	51,4
Outros	16,7
Total	100,0

Fonte: Plano Nacional dos Resíduos Sólidos (2012).

Assim como os indicativos da tabela 1, para Pereira Neto (1996), a maioria dos resíduos gerados pelo ser humano é constituído pela

fração orgânica, os quais são “resultantes de atividades industriais, comerciais, agrícolas, domiciliares, entre outras”. Este alega ainda que, em sua maioria os “resíduos orgânicos se apresentam na forma de sobras de alimento, frutas e legumes, folhas, gramas e sobras de cultura”.

Por fim, não basta apenas separar os resíduos de forma correta, mas também destiná-los de modo que sejam, preferencialmente, beneficiados e tratados antes de optar pela disposição final, e que segundo a PNRS (BRASIL, 2010), destinação final ambientalmente adequada é a “destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes”.

### 3.2 COMPOSTAGEM

De acordo com a Bidone & Pobinelli (2010 *apud* Calijuri e Cunha, 2013), compostagem é um “processo de tratamento biológico aeróbio que transforma resíduos orgânicos em um material estabilizado, chamado de composto ou húmus. Essa técnica pode ser usada para tratar a fração orgânica dos RSU”. Em outras palavras, para Guidoni et al (2013) compostagem é “a decomposição e estabilização biológica de substratos orgânicos, sob condições termofílicas e aeróbias controladas”. Contudo, o autor ainda acrescenta que, no processo de compostagem, o fertilizante orgânico composto terá uma melhora das suas características e propriedades iniciais, eliminando as possíveis contaminações do fertilizante por micro-organismos patogênicos, possibilitando o uso em solos agrícolas. Isso significa, para o autor Fernandes (1999), que a partir de resíduos com odor, aspecto e outras características desagradáveis, o processo de compostagem transforma-os em um composto favorável para uso na agricultura, com a vantagem de não possuir tais atributos negativos. O processo de compostagem, para o autor Pereira Neto (1996), “é desenvolvido por uma população diversificada de microrganismos e envolve necessariamente duas fases distintas, sendo a primeira de degradação ativa (necessariamente termofílicas) e a segunda de maturação ou cura”.

Considerando que, para o Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM, 2001), em seu Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos, compostagem é definida como “processo natural de decomposição biológica de materiais orgânicos (aqueles que possuem carbono em sua estrutura), de origem animal e vegetal, pela

ação de microrganismo”. Diferentemente das definições anteriores, o IBAM (2001) caracteriza a compostagem como tendo dois possíveis métodos de tratamento de resíduos orgânicos, não somente por bactérias aeróbias já citadas, mas também por bactérias anaeróbias, dependendo se há ou não presença de oxigênio no processo. Para o IBAM (2001), no método anaeróbio “a decomposição é realizada por microrganismos que podem viver em ambientes sem a presença de oxigênio; ocorre em baixa temperatura, com exalação de fortes odores, e leva mais tempo até que a matéria orgânica se estabilize”. Já no método aeróbio, é considerado pelo mesmo autor como sendo uma forma mais eficaz no tratamento dos resíduos domiciliares, onde a decomposição é feita por microrganismos na presença de oxigênio. A temperatura pode chegar a até 70°C, os odores emanados não são agressivos e a decomposição é mais veloz. O IBAM (2001) ainda afirma, semelhante a autores supracitados, que o produto final da compostagem é o composto orgânico, material rico em nutrientes, sendo este utilizado na agricultura como condicionador de solos, atuando como fertilizante.

O processo de compostagem passa por diferentes fases, desde quando se colocam as matérias primas até o fertilizante orgânico composto, conforme Inácio e Miller (2009) dividem-nas em fase inicial, fase termófila, fase mesófila e maturação. Para eles, na fase inicial “ocorre a expansão das colônias de microrganismos mesófilos e intensificação da ação de decomposição, liberação de calor e elevação rápida da temperatura”. Após algumas horas ou dias, chega-se à fase termófila, caracterizada pelas suas altas temperaturas, acima dos 45°C principalmente variando entre os 50 e 65°C, que é quando, segundo o autor, “ocorre plena ação de microrganismos termófilos, com intensa decomposição do material, com formação de água metabólica, e manutenção de geração de calor e vapor d’água”. Depois da intensa ação das bactérias na fase anterior, entram com igual importância os fungos e actinomicetos na fase mesófila, “fase de degradação de substâncias orgânicas mais resistentes por microrganismos mesófilos, redução da atividade microbiana e consequente queda da temperatura das leiras e perda de umidade”. Por fim, entra-se no período de maturação das leiras, onde, Inácio e Miller (2009) concluem que “ocorre a maturação do composto com grande formação de substâncias húmicas, a atividade biológica é baixa e o composto perde a capacidade de auto-aquecimento”.

No processo de compostagem, há alguns fatores que afetam no seu transcorrer, visto que este é biológico e dependente de atividades microbianas. Assim, tudo o que as interfira, muda o rumo da compostagem, sendo os principais fatores: umidade, oxigenação, temperatura, concentração de nutrientes, tamanho das partículas, pH (Pereira Neto, 1996).

Por fim, pode-se concluir que o processo de compostagem é importante pois, conforme os autores Meira, Cazzonato e Soares (2003), é a “reciclagem dos nutrientes contidos no solo, devolvendo a ele os componentes de que precisa e reaproveitamento agrícola da matéria orgânica”.

### 3.3 BIODEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Matéria orgânica, segundo Lourenço (2014), além de melhorar as propriedades do solo, atuam como “reguladoras do crescimento vegetal, controlando a germinação das sementes, a iniciação radicular, a absorção de nutrientes, o peso da planta, a fotossíntese e o metabolismo”.

“O termo matéria orgânica ou resíduo orgânico é dado a todo composto de carbono suscetível de degradação” (Pereira Neto, 1996). Para este autor, degradação ou biodegradação da fração orgânica dos resíduos sólidos é a sua decomposição por microrganismos, podendo ser mais veloz ou menos veloz dependendo das propriedades dos resíduos orgânicos submetidos à biodegradação, ou seja, de suas propriedades intrínsecas, onde que “materiais como serragem, materiais palhosos e secos apresentam mais resistência à decomposição que, por exemplo, os legumes”. (Pereira Neto, 1996)

A parcela representativa da matéria orgânica presente no total dos resíduos sólidos pode ser subdividido, segundo Lima (1995), em dois grupos, sendo eles: matéria orgânica não putrescível, a qual abrange o papel, papelão, madeira, trapos, estopa, couro, entre outros; matéria orgânica putrescível, representadas por verduras, folhas, restos de alimentos, carnes, animais mortos, etc. Para este autor, o tempo e alguns fatores fazem com que as propriedades dos resíduos sólidos possam alterar, como é o caso da densidade de microrganismos decompositores, a demanda bioquímica de oxigênio e a relação carbono/nitrogênio. O primeiro é quem determina a dimensão do problema da poluição causada; o segundo define a “quantidade de oxigênio requerida durante

a estabilização da matéria orgânica decomponível e a matéria orgânica oxidável pela ação biológica aeróbia”; o terceiro “indica a capacidade dos resíduos em decomposição de se constituírem em compostos orgânicos bio-estabilizados e mais resistentes às espécies consumidoras”. (Lima, 1995)

Para Brady e Weil (2013) “a quantidade e a qualidade da matéria orgânica do solo são fundamentais para determinar a qualidade do solo”. Para que se obtenha um material com boa fertilização da matéria orgânica, conforme Pereira Neto (1996), é necessário que a biodegradação desta seja de forma controlada, impedindo que os fatores do meio interfiram no processo. Segundo o autor, “a forma mais eficiente de obter a biodegradação da matéria orgânica é por meio do processo de compostagem”.

Em meio a discussões ambientais em nosso planeta, os autores Brady e Weil (2013) declaram que “a matéria orgânica dos solos desempenha um importante papel no balanço global do carbono, que vem sendo considerado como o principal fator responsável pelo aquecimento global, ou efeito estufa”.

### 3.4 POLÍMEROS BIODEGRADÁVEIS

Nelson et al (2013) trazem a biodegradação como “um processo realizado por bactérias, fungos ou enzimas, onde ocorre o desaparecimento completo de material, resultando em resíduos que não são nocivos ao corpo humano”. Entretanto, para Salame (1986 *apud* Mota, 2013), a biodegradação “é um processo natural e complexo onde compostos orgânicos, pelo intermédio de mecanismos bioquímicos, são convertidos em compostos mineralizados, e então redistribuídos no meio ambiente, através do ciclo elementar, tal como o do carbono, nitrogênio e enxofre”. Em concordância, para Fulgencio (2007), a biodegradação ocorre através de “um processo no qual a decomposição se faz pela ação de organismos vivos, como bactérias, fungos, insetos que podem atacar as células, amido ou demais polissacarídeos adicionados ao plástico na obtenção do produto final”. Isso significa, portanto, que será considerado degradável quando em suas características intrínsecas houver componentes que possam acelerar a sua degradação.

“Biodegradação de um polímero é o processo intrínseco pelo qual os microrganismos e as suas enzimas o consomem como fonte de nutrientes, em condições normais de umidade, temperatura e pressão”

(Mota, 2013). Em conformidade, Antunes (2007) afirma que “a decomposição do plástico se faz pela ação de organismos vivos, como bactérias, fungos, insetos que podem atacar a celulose, amido ou demais polissacarídeos adicionados ao plástico na obtenção do produto final”. A autora resume que “um polímero é considerado degradável quando possui na sua estrutura, componentes que acelerem a degradação da própria resina”.

Os bioplásticos têm diversas utilidades e variâncias em sua estrutura, podendo ser empregado nas mais diferentes áreas, conforme Fechine (2013) nos apresenta a seguir:

*As principais aplicações para os Polímeros Biodegradáveis incluem materiais para embalagens (sacolas, papéis para embrulho, recipientes para comidas, papéis laminados), não-tecidos descartáveis, produtos higiênicos (fraldas descartáveis, chumaços de algodão), bens consumíveis (acessórios de mesa de fast-food, potes plásticos (tapwares), brinquedos, aparelhos de barbear descartáveis etc.) e utensílios agrícolas (filmes para recobrimento de plantação, contêineres para germinação de sementes).*

Pode-se classificar os polímeros biodegradáveis em dois tipos, consoante Fechine (2013), sendo que “uma refere-se aos de ocorrência natural, e a outra diz respeito aos produzidos através de sínteses”, onde que na primeira “encontram-se o amido, a celulose e outros polissacarídeos, ácidos algínicos, polipeptídeos e poliésteres bacterianos”. O autor Mota (2013) acrescenta que “polímeros naturais são os que têm biodegradação completa, hidrolisáveis por CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O, ou por CH<sub>4</sub>, e têm a possibilidade de formar um ciclo de vida fechado”. A degradabilidade de um polímero, para Antunes (2007), “é profundamente afetada pelas condições do meio, pela presença de aditivos na composição e pelo tipo de polímero. Essas variáveis determinam diferentes mecanismos de degradação no meio ambiente”.

Uma variação do polímero biodegradável é o compostável, que segundo Magrini (2012), é assim chamado porque “sofre degradação por processos biológicos durante compostagem, gerando CO<sub>2</sub>, água e



compostos inorgânicos a uma velocidade considerável em relação a outros materiais compostáveis, porém sem deixar resíduos visíveis”.

Derivados de fontes renováveis, para Coltro, Sarantópoulos, Jesus Jr. (2015), os biopolímeros são subdivididos em três categorias, sendo elas: “polímeros extraídos diretamente da biomassa (polissacarídeos); polímeros produzidos por síntese química clássica usando monômeros de fonte renovável (PLA); e polímeros produzidos por microrganismos ou bactérias modificadas geneticamente (PHA, PHB, etc)”. Segundo a Associação Brasileira de Biopolímero Compostável e Compostagem (ABICOM s.d), que “por ação de microrganismos como bactérias, fungos e algas consomem totalmente o material como alimento transformando-o em água (H<sub>2</sub>O), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), energia e biomassa (húmus)”. De acordo com este autor, em poucas semanas este material será biodegradado, quando submetidos a condições apropriadas, a exemplo dos processos de compostagem.

Por fim, conforme Rudin e Choi (2015), os polímeros biodegradáveis possuem “a capacidade de obter um processo de carbono quase neutro, fechando o ciclo de carbono desde o momento em que o CO<sub>2</sub> é capturado durante a fotossíntese até que ele seja liberado durante a biodegradação”.



## 4 METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Os RSO utilizados para formação das leiras foram: resíduos alimentícios, poda triturada, serragem com dejetos de equinos e palha.

Os resíduos alimentícios foram recolhidos do restaurante da Sociedade Espírita de Recuperação, Trabalho e Educação (SERTE), entidade espírita, filantrópica e educacional sem fins econômicos, com obras sociais que envolvem assistência a 55 idosos e cerca de 20 crianças abrigadas, em regime de 24 horas, além de 150 crianças na educação infantil pré-escolar. Tem sede no bairro da Cachoeira do Bom Jesus, em Florianópolis, Santa Catarina. Anexo ao terreno desta organização, há um pátio de compostagem gerido pela empresa Procomposto, responsável pela coleta, transferência e tratamento de resíduos orgânicos. Neste, foi separado um espaço para a construção das leiras de compostagem, delimitado de forma a não atrapalhar o fluxo do pátio, mencionado no tópico 4.3 mais a frente.

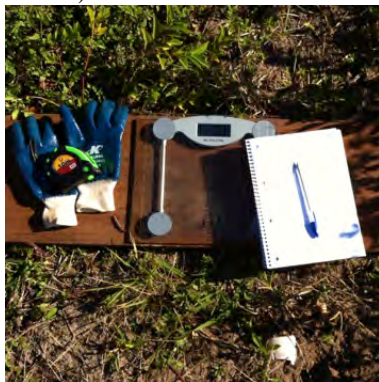
As coletas dos resíduos alimentícios foram feitas no período de 10/08/2015 até 14/09/2015, por funcionários capacitados da Procomposto, onde tais resíduos apenas foram desviados das leiras habituais da empresa e enviados às leiras experimentais. O acondicionamento adotado é com bombonas plásticas de 50 l com tampa, em duas diferentes dimensões de diâmetro (36 e 38 cm), utilizando EC para revesti-las.

Para que seja possível trabalhar de forma precisa e com um bom material, os resíduos alimentícios devem ser bem separados na fonte, sem que haja contaminantes, como plástico, metais ou outros materiais que não sejam degradados no processo de compostagem.

Para aferir a densidade dos resíduos alimentícios, foi utilizada balança digital com capacidade de 150 kg e trena de 10m, apresentadas na figura 4a, onde se deixou acumular um total de 16 bombonas, para realizar as medidas de densidade dos resíduos, conforme figura 4b. Pesou-se cada bombona, ao passo que se tirava as medidas de seu diâmetro e altura para o cálculo do volume.

**Figura 4:** Ferramentas e recipientes utilizadas para aferição da densidade dos resíduos alimentícios.

a) Ferramentas utilizadas



b) Bombonas selecionadas



Fonte: Elaborada pelo autor.

Utilizou-se a fórmula de volume do cilindro, por causa de seu formato, sendo esta:

$$V = \frac{\Pi \times D^2}{4} \times h$$

onde:

V = volume, em m<sup>3</sup>

D = diâmetro, em m

h = altura, em m

Π = Pi, adimensional

Com isso, havendo os valores de Peso e de Volume, calculou-se a densidade do material dividindo-os da seguinte forma:

$$d = \frac{P}{V}$$

onde:

d= densidade, em kg/ m<sup>3</sup>

P = peso, em kg

V = volume, em m<sup>3</sup>

#### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO BIODEGRADÁVEL COMPOSTÁVEL TESTADO

Para o recolhimento dos resíduos alimentícios foram utilizadas bombonas como recipiente, revestidas com embalagens compostáveis, estas posteriormente descartadas no processo de compostagem. Elas são destinadas à coleta seletiva de resíduos orgânicos, confeccionadas na cor marrom, com impressão dos dados do produto, do fabricante, das normas técnicas aplicáveis, da certificadora, e da data de fabricação e prazo de validade. Trata-se de um material produzido com biopolímeros certificados compostáveis obtidos a partir de fontes de carbono renovável. As dimensões são planas de 63 x 80 cm, capacidade nominal de 50 litros, solda contínua, homogênea e uniforme, com variação nas medidas de mais ou menos 1 cm e de até 4% na espessura e no peso, apresentada na figura a seguir:

**Figura 5:** Bombona vazia, com embalagem compostável.



Fonte: Elaborada pelo autor

As embalagens foram fabricadas com matéria prima de acordo com as normas técnicas da ABNT e referências normativas seguindo os critérios estabelecidos pela NBR 9191 (ABNT, 2008), sobre requisitos e métodos de ensaios de sacos plásticos para acondicionamento de lixo, e pela NBR 15448-2 (ABNT, 2008), sobre requisitos e métodos de ensaios para embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes

renováveis, sendo esta parte 2 da NBR 15448, referente a biodegradação e compostagem.

Conforme ABICOM (s.d), “a biodegradação dos plásticos compostáveis depende de três principais fatores: temperatura elevada, umidade e abundância de micróbios”. Assim, o autor acrescenta que, caso esses fatores sejam obedecidos concomitantemente, teremos uma rápida biodegradação, os quais são apresentados em “estações de tratamento de resíduos biológicos”, como exemplo a compostagem.

As embalagens testadas neste trabalho são compostas de ácido polilático (PLA), um “termoplástico com um razoável *shelf life*<sup>1</sup> para a maioria das aplicações em embalagens descartáveis e, se descartado corretamente, sofrerá hidrólise, sendo convertido em produtos naturais inofensivos” (Garlotta, 2001, *apud* Oliveira et al, s.d).

Por se tratar de embalagens compostáveis, estas têm como objetivo, além de coletar e transportar os resíduos de forma segura e sanitária, degradar-se quando submetidas às condições físicas, químicas e biológicas que envolvem o processo de compostagem. Segundo a ABICOM (s.d), os plásticos biodegradáveis compostáveis, em condições controladas, degradar-se-ão em “gás carbônico, água e biomassa (húmus)” em até 180 dias. Para este autor, “nenhuma matéria-prima dos plásticos biodegradáveis e compostáveis apresentam aditivos em sua formulação nem sequer metais pesados que possam afetar ao ambiente e a saúde humana”.

Portanto, com a evolução do processo de degradação da matéria orgânica das leiras de compostagem, pôde-se acompanhar a degradação das embalagens compostáveis, relatando quanto tempo é necessário para que as embalagens compostáveis se desintegrem. Para isso, foi utilizado a ferramenta garfo agrícola curvado para abrir a leira e procurá-las.

#### 4.3 CONSTRUÇÃO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

Delimitou-se a área para realizar os experimentos, sendo esta no pátio de compostagem na SERTE já mencionado no item 4.1. Para estes testes, foram necessárias duas leiras de compostagem, ambas com 1,4 metro de largura por 2,4 metros de comprimento, estando separadas por, no mínimo, 1 metro, espaço esse para circulação tanto de pessoas, quanto de ar para aeração das leiras. Interessante ressaltar algumas

---

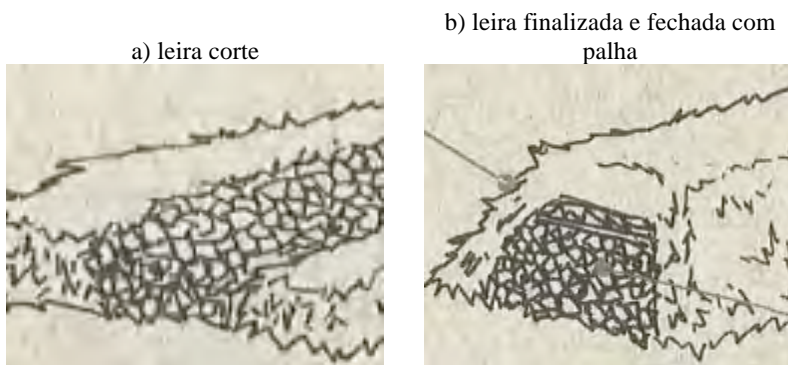
<sup>1</sup> Vida útil de um produto.

características importantes para a escolha do lugar da leira de compostagem, sendo este aberto, que proporcione livre acesso para circulação, radiação solar, aeração e chuva. Designaram-se duas leiras de compostagem, onde uma continha as EC, e a outra não.

O método de compostagem empregado foi o de leira estática em camadas com aeração passiva. Inicialmente, utilizou-se uma camada de palha na base da leira com as dimensões de 1,0 m de largura e 2,0 m de comprimento. Em seguida, foi posto uma camada da mistura de poda triturada e serragem com dejetos de equinos com cerca de 20 cm de altura acima da base de palha. Fez-se então uma parede de palha nas laterais, com aproximadamente 20 cm de espessura e 40 cm de altura, deixando a área interna sem nada, formando uma pequena bacia, cujo total das dimensões são de 1,4 m de largura e 2,4 m de comprimento.

Em seguida, foram colocadas camadas de resíduos alimentícios intercaladas com a mistura de poda e serragem, com três camadas de cada material em ambas as leiras, até chegarem em uma altura de 1 m. A Figura a seguir ilustra o formato da estruturação para construção das leiras de compostagem:

**Figura 6:** Estruturação das leiras de compostagem.



Fonte: Inácio e Miller (2009).

As ferramentas utilizadas para a realização do processo de estruturação das leiras foram: garfo agrícola curvado com cabo de madeira, garfo agrícola reto com cabo de madeira e enxada. O primeiro exerceu a função de recolhimento da palha que, quando amontoada, teve que separá-la, e também desempenhou papel importante para assentar os

resíduos alimentícios quando viradas as bombonas nas leiras. O segundo somente foi utilizado para pegar os resíduos de poda triturada e serragem. Já a enxada foi utilizada na limpeza do local antes do início das leiras, e ao seu redor. Na Figura 7 podemos vê-las, da esquerda para a direita, a enxada, o garfo agrícola reto e o garfo agrícola curvado.

**Figura 7:** Ferramentas auxiliares para estruturação das leiras.



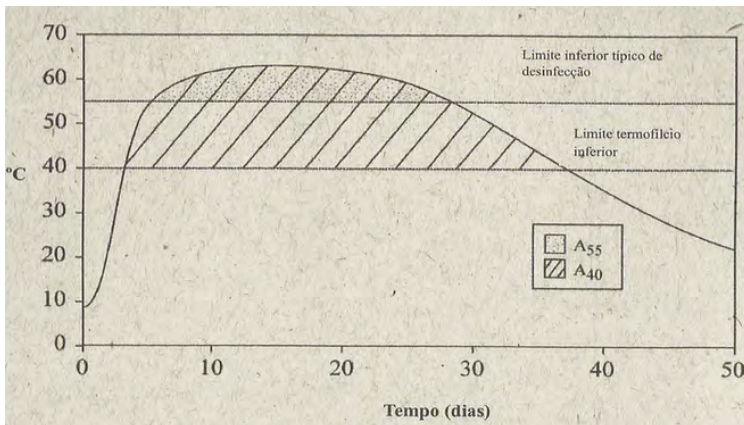
Fonte: Elaborada pelo autor.

#### 4.4 MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

Com o passar do tempo, as leiras de compostagem passam por diferentes fases, a saber, fase inicial, fase termófila, fase mesófila e a fase final de maturação do composto, conforme figura 8, sendo monitorados um período de 60 dias após o término da construção das leiras, do dia 14/09/2015 à 16/11/2015.



**Figura 8:** Variação típica de temperatura em processos de compostagem.



Fonte: Inácio e Miller (2009).

Neste experimento, dois parâmetros importantes foram monitorados: a temperatura e o pH. Para o primeiro, utilizou-se um termômetro com haste metálica modelo TP101, que ao ser introduzido nas leiras, faz a medição da temperatura de -50 a 300 °C (graus Celsius), o qual está apresentado na figura 9.

**Figura 9:** Ferramenta de monitoramento: termômetro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Já para o pH, utilizou-se o aparelho Sensorex P07, o qual apresenta dois sensores em formato de haste que são introduzidos na leira, conforme figura 10. A medição do pH é adimensional, cujo aparelho afere na faixa de 3,5 à 8,0 e que, quanto menor, mais ácido e quanto maior, mais alcalino.

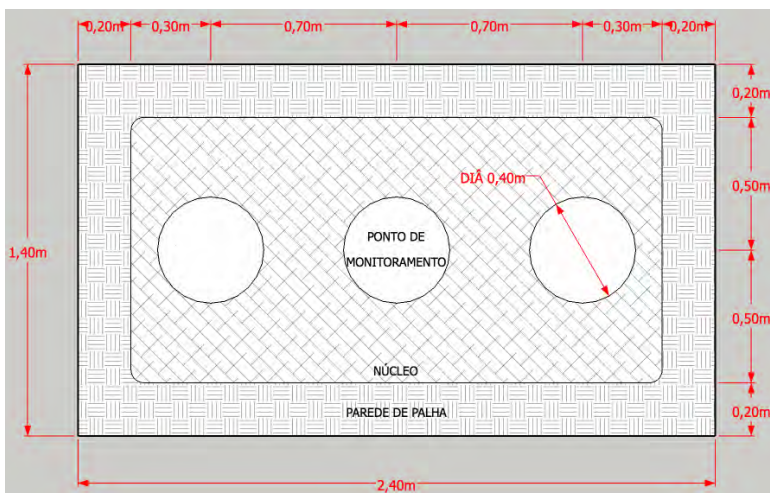
**Figura 10:** Ferramenta de monitoramento: pHmetro.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Fez-se medições dos parâmetros apresentados acima em ambas as leiras, com e sem EC, em três locais distintos. Com base nas dimensões das leiras, com largura e comprimento de, respectivamente 1,4 e 2,4 m, os três pontos escolhidos estão com equidistância das paredes laterais de 0,7 m, variando no comprimento de 0,5; 1,2 e 1,9 m, conforme figura 11.

**Figura 11:** Locais das medições dos parâmetros de temperatura e pH no decorrer do processo de compostagem.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Monitorou-se as leiras de compostagem nas segundas e quintas feiras, salvas exceções. Com isso, foi possível incluir essas informações a gráficos que podem mostrar com melhor clareza o comportamento das leiras com o passar do tempo, trazidos nos resultados.

#### 4.5 CARACTERIZAÇÃO DO FERTILIZANTE ORGÂNICO COMPOSTO

As análises do composto final das leiras com e sem EC têm como objetivo avaliar tanto as possíveis alterações causadas pelo uso de EC no composto final, quanto sua qualidade por meio de parâmetros que indicam se este está em boas condições de uso, na agricultura por exemplo.

Para isso, foram feitos ensaios laboratoriais dos parâmetros físico-químicos das leiras de compostagem, realizados no Laboratório de Pesquisas em Resíduos Sólidos (LARESO) e no Laboratório Integrado do Meio Ambiente (LIMA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os parâmetros verificados neste estudo foram: umidade, pH, nitrogênio total e carbono orgânico. Em relação à

capacidade de troca de cátions (CTC), as análises foram realizadas no Laboratório Aquavita.

Além das duas leiras construídas (com e sem EC), duas outras leiras também foram avaliadas para efeitos de comparação. Estas últimas já estavam completamente maturadas e curadas. Assim, no total foram necessárias 4 amostras, a saber: Amostra 1, leira construída pelo autor, com EC; Amostra 2, leira construída pelo autor, sem EC; Amostra 3, leira maturada utilizada para comparação, com EC; Amostra 4, leira maturada utilizada para comparação, sem EC.

Para recolhimento das amostras das leiras experimentais construídas, homogeneizou-se todo o fertilizante orgânico composto, recolhidos em 27 pontos distintos: 9 no topo, 9 no meio e 9 no fundo. A amostra homogeneizada foi peneirada com malha de 8 mm, e por quarteação manual, chega-se em 1kg de amostra. Já para as outras 2 amostragens, foram recolhidos de quatro locais distintos, a partir de pontos amostrais nas extremidades das leiras, para ter total garantia de que os pontos amostrais eram totalmente com e sem as EC.

## 4.5.1 Métodos analíticos

### 4.5.1.1 Umidade

Os equipamentos utilizados foram estufa e balança de precisão. Primeiro, pegou-se 12 cápsulas de porcelana previamente higienizadas, e colocou-se na estufa por 2 horas. Transferiu-se para o dessecador por 15 min. Pesou-se em balança digital de precisão, obtendo a tara. Colocou-se as 4 amostras em triplicatas nas 12 cápsulas, pesou-se, subtraindo o valor da tara, obtendo a massa úmida (M1). Colocou-se na estufa por aproximadamente 20 horas. Transferiu-se para dessecador por 15 min. Pesou-se, subtraindo o valor da tara, obtendo a massa seca (M2). Com isso, obteve-se a umidade do fertilizante, em %, utilizando a expressão a seguir:

$$U (\%) = \frac{M1 - M2}{M1} \times 100$$

Reservou-se essas amostras em dessecador para não terem trocas com o meio nem agregar umidade. Foi utilizada para o ensaio do carbono orgânico.

#### 4.5.1.2 pH

Os equipamentos utilizados foram pHmetro, agitador magnético e triturador. De início, diluiu-se 50 g da amostra para cada 500 ml de água ultrapura. Triturou-se bem o material, por aproximadamente 5 minutos, e colocou-o em um agitador magnético por 2 horas. Após, mediu-se o valor do pH com um pHmetro. Este valor é adimensional.

#### 4.5.1.3 Nitrogênio total

Os equipamentos utilizados foram digestor (VELP Scientifica, DKL), destilador (VELP Scientifica, DKL) e balança digital de precisão. No começo, colocou-se em um tubo de ensaio aproximadamente 1 g da amostra, sendo necessário anotar precisamente este valor, 7 g de catalizador ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$ , 1:9) e 10 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$  - 96%). Fez-se o branco, trocando 1g da amostra por 1 ml de água ultrapura. Feitos em triplicata, num total de 12 amostras mais o branco. Colocou-se no digestor por aproximadamente 6 horas, configurando as baterias em 30 min a 150°C, 30 min a 200°C, 60 min a 300°C e 240 min a 420°C. Deixou-se esfriar por aproximadamente 30 min ou até o tubo estar em temperatura ambiente. Após, colocou-se o branco no destilador para fazer a leitura, e de um em um, colocou-se no destilador, o qual pedirá o peso exato da amostra utilizada, e então fará a leitura do nitrogênio total, com tempo aproximadamente de 10 min. Lê-se nas unidades: % N, mg N e mg N/100g. Para este trabalho, usou-se a unidade de % de Nitrogênio.

#### 4.5.1.4 Carbono orgânico

Os equipamentos utilizados foram Shimadzu TOC-L SSM-5000A, computador com *software* TOC-L, balança digital de precisão, amassador manual de ágata e peneiras metálicas de 355 e 212 µm. Dito isso, pegou-se as amostras reservadas no dessecador após feita a aferição da umidade. Preparou-se as amostras, amassando-as até virarem pó e passaram em peneiras de 355 e 212 µm, reservando-os em tubos de ensaio. Pegou-se cápsulas de porcelana previamente higienizadas e as colocou para secar no próprio equipamento de sólidos, no local da aferição do carbono total, a 900°C. Pesou-se 50 mg da amostra na cápsula, com uso da balança digital de precisão. Abriu-se o *software* do

TOC-L instalado em um computador ligado ao aparelho TOC-L. Criou-se uma nova tabela na qual, quando solicitado, optar por SSM (Solid Sample Measurement), devendo-se intercalar a tabela em TC (carbono total) e IC (carbono inorgânico). Começando pelo TC, colocou-se uma fina camada de algodão até cobrir a amostra dentro da cápsula, colocou-se no local devido, apertou-se *start* no programa computacional, inseriu-se a massa exata utilizada solicitada pelo programa, então, deu-se início à leitura. No computador, indicou-se as posições que se deve colocar no aparelho. Com isso, obteve-se os dados de TC, em %. Passando para a medição do IC, pesou-se novamente 50 mg da amostra na cápsula, colocou-se no local devido, injetou-se uma medida do ácido acoplado, foi-se até o programa, dando início à leitura, novamente informando a massa exata utilizada da amostra na cápsula. Com isso, obteve-se os dados de IC, em %. Por fim, bastou fazer uma subtração para obter os dados de carbono orgânico total (TOC), em %, conforme fórmula abaixo:

$$\text{TOC (\%)} = \text{TC} - \text{IC}$$

#### 4.5.1.5 Relação C/N

Para esta, dividiu-se os valores obtidos de carbono orgânico e de nitrogênio total dos tópicos 4.5.1.4 e 4.5.1.3, respectivamente, conforme fórmula abaixo:

$$\text{Relação } \frac{\text{C}}{\text{N}} = \frac{\text{Carbono Orgânico}}{\text{Nitrogênio Total}}$$

#### 4.5.1.6 Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

Como esta análise não foi elaborada pelo autor, o mesmo recorreu ao ensaio elaborado efetuado pelo laboratório, conforme a seguir:

Equipamentos: Funil de Büchner, Kitassato de 1000 mL e Agitador de Wagner.

#### Procedimento de Extração:

a) Pesar 2,000 g do fertilizante orgânico preparado (secado a 65°C e pulverizado), e 1,000 g de carvão ativado, transferindo-os para erlenmeyer de 250 mL;

b) Juntar 100 mL de HCl 0,5 M, medidos em proveta, tampar e agitar por 30 minutos no agitador de Wagner a 30-40 rpm;

c) Preparar o conjunto de filtração a vácuo, colocando sobre a placa do funil de Büchner um disco de papel de filtro de porosidade fina (filtração lenta), de diâmetro suficiente para cobrir o fundo, com excesso de 2-3 mm;

d) Umedecer o papel de filtro, aplicar sucção moderada e transferir o conteúdo do erlenmeyer, recebendo o filtrado em kitassato de 1000 mL;

e) Lavar o retido com porções de água destilada, procedendo a uma nova lavagem só após todo líquido da lavagem anterior ter sido drenado;

f) Efetuar um número de lavagens suficiente para se ter um volume de 350 a 400 mL no kitassato;

g) Terminada a fase das lavagens, trocar o kitassato utilizado até aqui substituindo-o por outro de igual capacidade;

#### Procedimento de Determinação:

a) Transferir 100 mL de solução de acetato de cálcio 0,5 M para béquer de 250 mL. Este volume de solução será distribuído sobre toda superfície do material orgânico retido no funil de Büchner em sucessivas porções de 10 a 15 mL, sob vácuo reduzido, para permitir uma lenta percolação. Uma nova porção de solução de acetato de cálcio só deverá ser adicionada após a porção anterior ter sido drenada para o kitassato;

b) Na sequência, lavar com porções de água destilada até totalizar um volume de aproximadamente 300 mL no kitassato;

c) Levar o kitassato ao sistema de titulação e titular com a solução 0,1 M de NaOH padronizada, empregando-se a solução de fenolftaleína como indicador;

d) Conduzir uma prova em branco em duplicata, empregando-se o carvão ativado, sem a presença da amostra;

e) Calcular o valor da CTC pela expressão:

$$\text{CTC (mmol/kg)} = \frac{1000 \times M \times (VA - VB)}{G},$$

onde:

VA = volume de NaOH 0,1M gasto na titulação da amostra, em mL;

VB = Volume médio de NaOH 0,1 M gasto na titulação das provas em branco, em mL;

G = massa da amostra, em grama;

M = concentração molar da solução de NaOH padronizada.

#### 4.5.1.7 Relação CTC/C

Nesta etapa, dividiu-se os valores obtidos da capacidade de troca de cátions e carbono orgânico dos tópicos 4.5.1.6 e 4.5.1.4, respectivamente, conforme fórmula abaixo:

$$\text{Relação } \frac{\text{CTC}}{\text{C}} = \frac{\text{Capacidade de Troca de Cátions}}{\text{Carbono Orgânico}}$$

### 4.5.2 Avaliação dos dados obtidos das análises laboratoriais

Para saber se o fertilizante orgânico composto com a EC teve alguma alteração em suas características intrínsecas, o autor avaliou os dados obtidos nos ensaios laboratoriais, através de comparações, tanto entre as amostras com e sem as embalagens, quanto de amostras com tempos de maturação diferentes.

Após feita a avaliação comparativa entre as amostras, iniciou-se o comparativo com o que a normativa brasileira exige. Para tanto, tomou-se como base a Instrução Normativa (IN) 25 (2009) do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a qual apresenta, entre outros temas, normas sobre as garantias de fertilizantes orgânicos compostos. Assim, seguiu-se o anexo III desta IN para a realização dos comparativos dos ensaios laboratoriais com as garantias de qualidade exigidas pelo MAPA, conforme ilustrada na tabela 2:



**Tabela 2:** Especificações das garantias para fertilizantes orgânicos compostos.

Garantia	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Umidade (máx.)	50			70
Nitrogênio total (mín.)	0,5			
Carbono orgânico (mín.)	15			
Capacidade de Troca de Cátions (CTC)	Conforme declarado			
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0
Relação C/N (máx)	20			
Relação CTC/C	Conforme declarado			

Fonte: Instrução Normativa SDA/MAPA 25 (2009).

Para classificar o fertilizante orgânico composto utilizado, buscou-se no Capítulo II da IN 25 (2009), a qual possui quatro classes distintas, A, B, C e D, e classifica de acordo com a matéria prima utilizada na produção do composto final.

Assim, é possível avaliar a qualidade do composto obtido nas duas leiras de compostagem testadas, e se a presença das embalagens de ácido polilático influenciaram nas características do produto final, ou seja, o fertilizante orgânico composto.



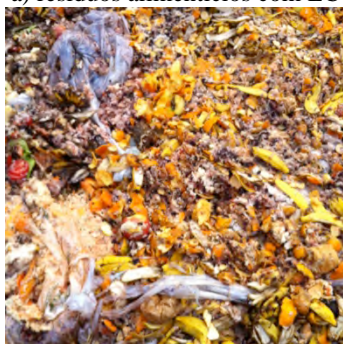
## 5 RESULTADOS

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Os resíduos orgânicos utilizados para a formação das leiras estão representados na figura 12, com resíduos alimentícios, mistura de resíduos de poda triturada com serragem com dejetos de equinos e palha.

**Figura 12:** Resíduos utilizados na compostagem.

a) resíduos alimentícios com EC



b) resíduos alimentícios sem EC



c) poda triturada+serragem com dejetos de equinos



d) palha



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os resíduos alimentícios coletados do restaurante da SERTE e usados nas leiras são, em sua maioria, restos de comidas cozidas (arroz, feijão, carne), cascas de frutas e sobras de legumes e verduras. Para este experimento, quando as bombonas estavam dispostas próximas às leiras, tentou-se separar os resíduos alimentícios de forma que tivessem maior semelhança possível, para que esses resíduos não alterem de maneira tão significativa no momento das análises do produto final, que serão apresentadas e discutidas no tópico 5.3.

Os resíduos de poda triturada constituem um material orgânico rico em carbono, e têm como principal função controlar a relação C/N para propiciar um ambiente favorável à decomposição dos resíduos orgânicos por parte dos microrganismos. Servem também como material estruturante, facilitador de aeração, principalmente no modelo de compostagem com leira estática e aeração passiva.

A serragem com dejetos de equinos tem função similar aos resíduos de poda, diferenciando na granulometria inferior da serragem, mas que sua função secundária é a inoculação de microrganismos já existentes nos dejetos de equinos.

A palha é utilizada principalmente para evitar proliferação de vetores, animais indesejados para o processo de compostagem. Atua também para facilitar a aeração das leiras.

Para melhor descrever os resíduos alimentícios utilizados nas leiras de compostagem, fez-se a aferição da densidade com base na metodologia apresentada no item 4.3, conforme a tabela 3 a seguir:

**Tabela 3:** Densidade dos resíduos alimentícios utilizados nas leiras de compostagem.

Recipiente	Peso kg	Diâmetro cm	Altura cm	Densidade kg/m <sup>3</sup>
1	24,9	36	26	940,87
2	33,6	36	38	868,68
3	43,3	36	46	924,77
4	34,8	36	58	589,46
5	24,9	36	41	596,65
6	20,3	36	31	643,34
7	24,4	38	27	796,84
8	35,2	38	33	940,53
9	24,2	36	29	819,83

10	23,4	36	23	999,52
11	40,6	38	41	873,14
12	31,2	38	37	743,53
13	27,3	36	32	838,14
14	21	36	39	529,01
15	33,5	36	37	889,50
16	23,4	36	30	766,30
<b>Densidade Média =</b>				<b>797,51</b>

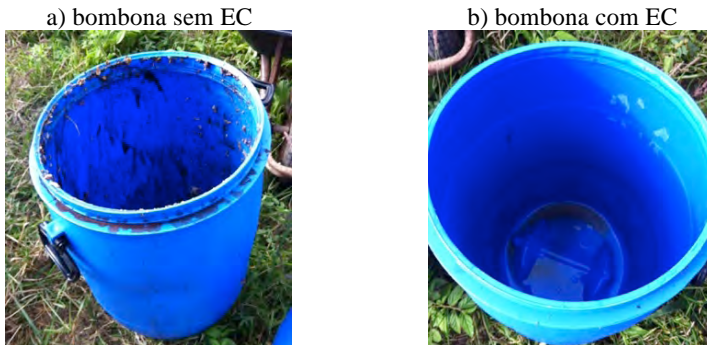
Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da média obtida das densidades dos resíduos alimentícios passíveis de tratamento via compostagem, vê-se que não está distante de outros estudos, como o de Quaresma (1998), o qual especifica a densidade dos materiais orgânicos compostáveis em  $800 \text{ kg/m}^3$ .

## 5.2 CARACTERIZAÇÃO DO POLÍMERO BIODEGRADÁVEL COMPOSTÁVEL TESTADO

Para a coleta seletiva dos resíduos orgânicos alimentícios, fez-se uso de EC para revestir as bombonas, procedimento da empresa responsável pelo serviço. Notou-se que, quando recebidos os recipientes, existiam bombonas com e sem EC, mas que em uma situação ideal, deveriam todas conter tais embalagens. A figura 13 mostra qual a situação dos recipientes, quando não utilizadas as EC, logo após a retirada do material ali presente.

**Figura 13:** Diferença entre recipientes com e sem o uso de embalagens compostáveis, após a retirada do material.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Um fato importante a ser considerado é que o uso das EC em recipientes não serve somente para ter maior sanidade no processo, mas também para apresentar maior sustentabilidade em todos os setores de sua produção. Por exemplo, conforme a figura 13, nota-se que para a limpeza da bombona sem a EC, demandar-se-á mais tempo, conseqüentemente maior gasto com água, energia, colaboradores, compra de recipientes estragados pela corrosão, entre outros fatores.

A embalagem utilizada no processo, conforme as características e propriedades descritas na metodologia no tópico 4.2, está apresentada na figura a seguir:

**Figura 14:** Foto da embalagem compostável testada, avulsa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para tanto, fez-se um acompanhamento da degradação das EC com o passar do tempo, juntamente com os monitoramentos das leiras. Percebeu-se que, após 30 dias de compostagem, havia desaparecido quase totalmente as EC utilizadas no processo, mas que mesmo após os 60 dias monitorados, ainda haviam resquícios das embalagens. Um dos motivos para que estas não tenham degradado, é a diferença na distribuição das EC pela leira, visto que se não estiverem em locais que propiciem sua degradação mais acelerada, restarão sobras. Outro motivo é que, neste estudo, os picos de temperaturas nas leiras não foram os ideais, tanto para a degradação dos resíduos orgânicos quanto das EC. A

temperatura não atingiu valores superiores a 50°C, apresentadas no tópico 5.4, que segundo Coltro, Sarantópoulos, Jesus Jr. (2015), “o PLA se degrada totalmente num período de 45 a 60 dias, em condições de compostagem, 60°C e 95% UR e presença de microrganismos”.

A seguir estão apresentados os restos das EC após 60 dias, tanto selecionadas pelo autor conforme figura 15a, quanto apresentadas na leira após feito o último revolvimento conforme figura 15b.

**Figura 15:** Resquícios das embalagens compostáveis após 60 dias.

a) Resquícios das embalagens compostáveis recolhida pelo autor.



b) Resquícios aparentes após a abertura da leira.



Fonte: Elaborada pelo autor.

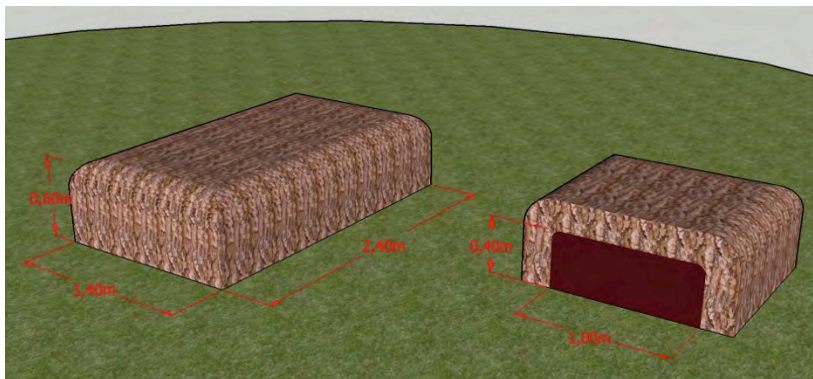
No momento em que foram feitas as amostragens para as análises laboratoriais, peneirou-se o fertilizante orgânico composto com malha de 8 mm e assim, segregando os resquícios de EC do produto final.

### 5.3 CONSTRUÇÃO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

As leiras têm dimensões totais de 1,4 m de largura e 2,4 m de comprimento, sendo que os 0,2 m da parede lateral já estão inclusas nessas medidas, possuindo então um núcleo com 1,0 m de largura e 2,0 m de comprimento para os materiais de poda, serragem e resíduos alimentícios. A figura 16 apresenta um esquema das dimensões das leiras prontas, bem como um corte transversal para melhor entendimento.



**Figura 16:** Esquema das leiras de compostagem.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Quando finalizada a construção das leiras de compostagem, estas obtiveram altura de 1 m, e após 30 dias, foi feita uma nova medição, obtendo um valor de 0,6 m de altura, podendo ser pela degradação da matéria orgânica, pela perda de água durante o processo, entre outros fatores. Com o uso de ferramentas foi possível montar as leiras de compostagem, cada qual com uma função diferente, apresentadas na figura 17.

**Figura 17:** Funções das ferramentas usadas para construção das leiras.

a) garfo agrícola curvado separando a palha



b) garfo agrícola curvado homogeneizando os resíduos alimentícios





c) garfo agrícola reto recolhendo resíduos de poda



d) enxada limpando o terreno ao redor das leiras



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a construção das leiras de compostagem, após delimitado o local designado para estas, seguiu-se a metodologia do item 4.3, conforme etapas ilustradas na figura 18, em ordem:

**Figura 18:** Estruturação das leiras de compostagem.

a) cama da base com palha



b) cama da base com resíduos de poda + serragem com dejetos de equinos



c) laterais com palha



d) inclusão dos resíduos alimentícios



e) inclusão dos resíduos de poda + serragem com dejetos de equinos



f) fechamento com palha



Fonte: Elaborada pelo autor.

As leiras de compostagem foram construídas em par, ao mesmo tempo, sendo que as datas para adição dos resíduos orgânicos foram: 10/08/2015, 19/08/2015 e 14/09/2015. Após fechadas as leiras, para incluir outra camada de resíduos alimentícios, abriu-se com o garfo agrícola curvado apenas a palha que está por cima, e então com os resíduos de poda expostos, pôs-se os resíduos alimentícios sobre eles, depois a mistura de resíduos de poda com serragem, para então fecha-la com palha, de acordo com a figura 19.

**Figura 19:** Abertura das leiras de compostagem para inclusão dos resíduos alimentícios.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Conhecendo-se as quantidades utilizadas para construção das leiras, foi possível estimar (tabela 4) as quantidades aproximadas dos resíduos orgânicos empregados nas leiras de compostagem, bem como das EC.



**Tabela 4:** Quantidade aproximada de resíduos orgânicos utilizados em cada leira de compostagem.

Resíduos	unidade	Qtde. utilizada	Vol. Total m <sup>3</sup>	Vol. Total %	Massa kg	Massa %
Poda	bombona 1	16	0,9436	37,49	219,85	25,85
Palha	bombona 2	9	0,8675	34,47	67,23	7,91
Alimentícios	bombona 1	19	0,7056	28,04	562,73	66,17
EC	embalagem	19			0,65	0,08
<b>Total</b>			<b>2,5167</b>	<b>100,00</b>	<b>850,46</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para estimar as massas de poda e palha, usou-se, respectivamente, densidades de 77,5 e 233,0 kg/m<sup>3</sup>, com base em 10 l de ambos os materiais coletados in loco, respectivamente com 0,775 kg e 2,330 kg. Conforme a tabela anterior, nota-se que o uso de EC nas leiras de compostagem, em percentagem mássica, é muito inferior aos demais resíduos orgânicos utilizados, não chegando nem em 0,1% do total compostado.

#### 5.4 MONITORAMENTO DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM

Finalizado a construção das leiras de compostagem, deu-se início ao processo de compostagem, onde foram monitorados os parâmetros temperatura e pH, em diferentes pontos das leiras, traçados três pontos em cada leira, equidistantes da parede lateral, em uma mesma altura, a 30 cm do topo da leira, conforme figura 20.

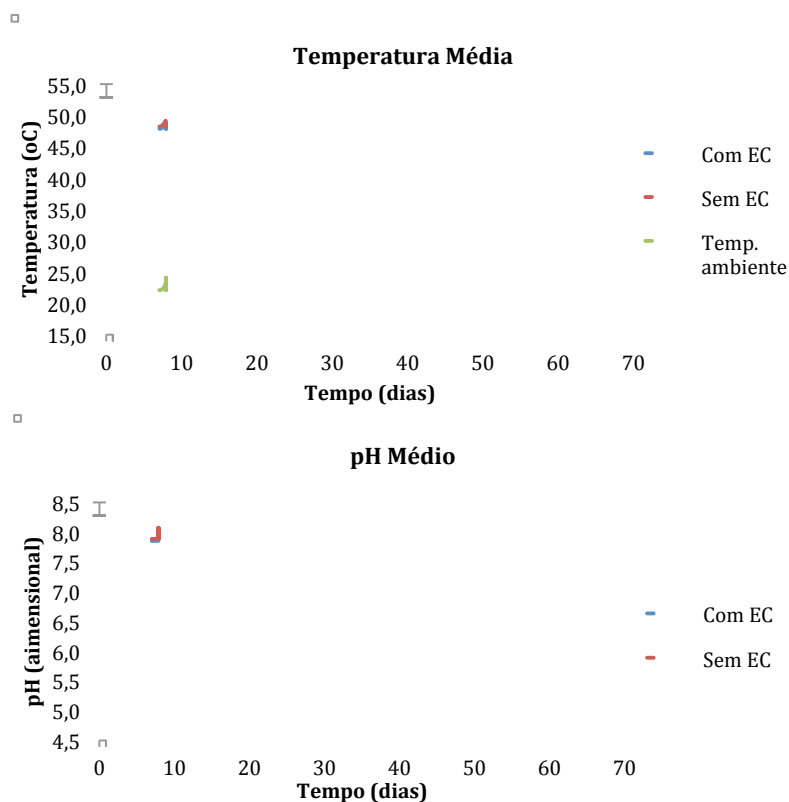
**Figura 20:** Locais dos monitoramentos nas leiras.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Depois de finalizada a construção das leiras no dia 14 de setembro de 2015 e delimitados os locais dos pontos conforme figura anterior, começou-se os monitoramentos dos parâmetros, os quais tiveram início no dia 21 de setembro de 2015, e a partir de então, no período da tarde nas segundas e quintas-feiras, foram obtidas as informações até o dia 15 de novembro de 2015, data para recolhimento das amostras e destinadas para análises das garantias do fertilizante orgânico composto. Os dados de temperatura e de pH em função do tempo aferidos em campo são indicados no gráfico 1.

**Gráfico 1:** Temperatura e pH médios monitorados nas leiras de compostagem, com e sem embalagens compostáveis.



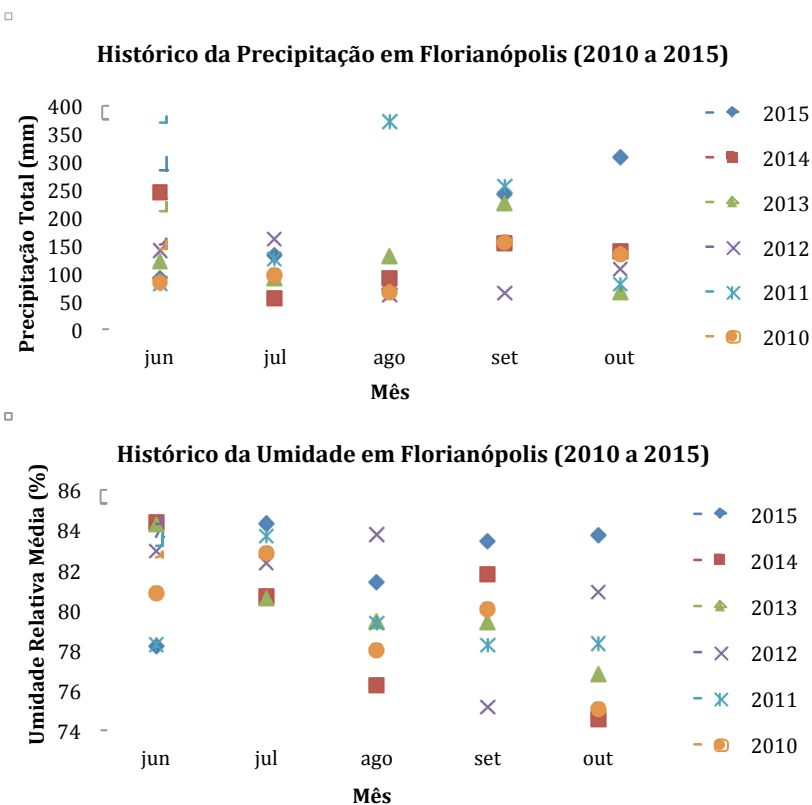
Fonte: Elaborada pelo autor.

As diferenças evolutivas de temperatura apresentadas no gráfico 1, mostram poucas variações comportamentais ao longo do tempo nas leiras com e sem EC. Analisando o gráfico, a leira com EC apresentou maior reação quando apresentada alguma adversidade, como por exemplo o revolvimento no 52º dia, elevando sua temperatura mais rapidamente que a leira sem a EC. Ainda no gráfico 1, para o parâmetro de pH, nota-se uma divergência de valores iniciais, indicando a leira com as EC mais ácidas, mas que no transcorrer dos dias tenderam à estabilidade em pH 8. Essas pequenas discrepâncias podem derivar de alguns fatores, como é o caso da diferença dos resíduos alimentícios utilizados ou pelo ponto de monitoramento adotado, não sendo utilizado o mais significativo de toda a leira.

Uma das explicações para que a temperatura não tenha atingido valores máximos típicos ( $\sim 50^{\circ}\text{C}$ ), apresentado valores em torno de  $35^{\circ}\text{C}$ , é o volume de chuvas ocorridas no mês de outubro. Conseqüentemente, um aumento da umidade relativa e da temperatura do ar afetou diretamente no andamento da leira de compostagem. Uma das medidas tomadas para controlar tal situação, foi o revolvimento manual das leiras de compostagem. Conforme Meira, Cazzonato e Soares (2003), é necessário aerar as leiras, principalmente em pequena escala para reduzir o excesso de umidade. Vê-se no gráfico 1, no dia 15 de outubro de 2015, a temperatura estava com médias de  $39,1^{\circ}\text{C}$ , e neste mesmo dia as leiras foram revolvidas, obtendo então no dia 19 de outubro de 2015 médias de  $47^{\circ}\text{C}$ , mesmo com precipitação acumulada de 35 mm entre essas datas. Devido a uma considerável intensidade de chuvas no mês de outubro e pelo fato do composto demorar para se tornar maturado, revolveu-se as leiras nos dias 5, 9, 11 e 13 de novembro, a fim de aerar as leiras e acelerar o processo de maturação, e como visto na gráfico 1, as temperaturas cresceram de 31 para  $48^{\circ}\text{C}$  neste período.

Na gráfico 2, foram recolhidos dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), tanto de precipitação quanto de umidade para os meses de junho a outubro, desde o ano de 2010 até 2015.

**Gráfico 2:** Histórico da precipitação e da umidade em Florianópolis desde 2010 até 2015, de junho a outubro.



Fonte: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Analisando os dados históricos de temperatura e umidade para a cidade de Florianópolis nos meses relativos ao processo de compostagem do experimento, podemos ver que ambos os dados de 2015 para o mês de outubro estão acima dos valores apresentados nos últimos 5 anos, afetando diretamente no transcorrer das leiras, como mostrado na gráfico 1, que a partir do 14º dia de compostagem, 28 de setembro de 2015, a temperatura decaiu de 48 para 32°C, a qual não mais estava subindo, mas que após o revolvimento teve um aumento significativo, mas que rapidamente voltou para temperaturas baixas,

decorrentes do grande volume pluviométrico, voltando a subir no 52º dia, 5 de novembro de 2015, pois começou uma série de revolvimentos de 2 em 2 dias até a data de 16 de novembro de 2015.

## 5.5 CARACTERIZAÇÃO DO FERTILIZANTE ORGÂNICO COMPOSTO

Está apresentado, na figura 21, o aspecto final das quatro amostras de fertilizantes orgânicos, antes da elaboração das análises, sendo elas, da esquerda para a direita, respectivamente: amostra A1, leira construída com EC; amostra A2, leira construída sem EC; amostra A3, leira maturada utilizada para comparação, com EC; amostra A4, leira maturada utilizada para comparação, sem EC.

**Figura 21:** Aspecto dos fertilizantes orgânicos compostos utilizados para as análises laboratoriais.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Nota-se uma diferença na coloração dos produtos finais, onde as amostras 1 e 2 são mais claras que as amostras 3 e 4, por possuírem tempos de maturação distintos, nos dois primeiros casos com 2 meses e nos dois últimos casos com 6 meses

Após feitas as análises laboratoriais de acordo com o tópico 4.5, obteve-se os resultados dos parâmetros que qualificam os fertilizantes orgânicos compostos, conforme tópico a seguir.



### 5.5.1 Avaliação dos resultados laboratoriais

Com o intuito de comparar os resultados obtidos, além de correlacionar e discutir as diferenças de valores obtidos nas análises laboratoriais, foi também elaborada uma comparação com as tolerâncias permitidas pelo MAPA, possibilitando a garantia de qualidade do produto final. De acordo com a IN 25 (2009), os fertilizantes orgânicos compostos obtidos nas leiras de compostagem utilizadas neste trabalho, são classificados como Classe C, pois é quando qualquer quantidade da matéria prima necessária para produção do composto final é “oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura”.

#### 5.5.1.1 Umidade

Os dados obtidos de umidade dos fertilizantes orgânicos compostos estão discriminados na tabela 5 a seguir:

**Tabela 5:** Resultados das análises de umidade dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	massa úmida g	massa seca g	Umidade %	Média %	Limite Classe C
A1 <sup>1</sup>	20,8907	10,3392	50,51	51,42	50% máximo
	25,8432	12,2185	52,72		
	21,8339	10,6932	51,02		
A2 <sup>2</sup>	19,0068	9,1112	52,06	52,66	
	20,3863	9,4711	53,54		
	19,1322	9,1104	52,38		
A3 <sup>3</sup>	26,7924	13,4917	49,64	48,63	
	23,5705	12,2484	48,04		
	23,0970	11,9625	48,21		
A4 <sup>4</sup>	25,6592	14,9053	41,91	40,94	
	24,2938	14,3721	40,84		
	20,8151	12,4738	40,07		
<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC <sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC <sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC <sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC					

Fonte: Elaborada pelo autor.

A partir da tabela anterior, quando comparamos A1 com A2, notamos que os valores não tem significativa diferença, evidenciando que neste parâmetro, nas condições em que as leiras foram submetidas, as EC não alteraram o parâmetro umidade do produto final da compostagem.

Como base de referência, as amostras A3 e A4 obtiveram uma maior diferença entre si, podendo ser pela origem dos resíduos alimentícios compostados, pelo local de amostragem limitado, ou pelas condições adversas pela qual foram submetidas.

No quesito, as amostras A1 e A2 apresentaram valores próximos dos padrões, mas existem alguns fatores determinantes para isso não ter acontecido, como: a falta da maturação completa; o pouco tempo que o composto final ficou curando, processo este que reduz significativamente a umidade do produto; e a alta acumulação pluviométrica no mês de outubro. No caso das amostras A3 e A4, estas passaram neste parâmetro, estando enquadradas nos limites de umidade.

#### 5.5.1.2 pH

Na tabela 6, encontram-se os resultados das análises de pH das 4 amostras.

**Tabela 6:** Resultados das análises de pH dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	pH	Limite Classe C
A1 <sup>1</sup>	6,95	6,5 mínimo
A2 <sup>2</sup>	6,87	
A3 <sup>3</sup>	6,89	
A4 <sup>4</sup>	6,79	
<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC <sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC <sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC <sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para os dados de pH, os valores das amostras A1 e A2, ficaram próximos, indicando uma pequena variação entre si, denotando que não há alterações significativas neste parâmetro quando a compostagem possui EC, nas condições em que as leiras de compostagem foram

submetidas. As amostras A3 e A4 também tiveram valores parecidos com as demais amostras, não variando neste parâmetro entre si, tampouco entre tempos de maturação diferentes.

Em relação aos dados de pH, todas as amostras se enquadraram nos padrões propostos pelo MAPA.

### 5.5.1.3 Nitrogênio total

Conforme a tabela 7, estão os resultados dos ensaios laboratoriais do parâmetro nitrogênio.

**Tabela 7:** Resultados das análises de nitrogênio total dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	Massa g	N mg N	N mg N / 100g	N %	Média %	Limite Classe C
A1 <sup>1</sup>	1,013	5,527	545,600	0,546	0,564	0,5% mínimo
	1,067	5,947	557,370	0,557		
	1,078	6,347	588,768	0,589		
A2 <sup>2</sup>	1,036	4,978	480,533	0,481	0,464	
	1,045	4,841	463,270	0,463		
	1,018	4,561	448,038	0,448		
A3 <sup>3</sup>	1,025	4,080	398,004	0,398	0,412	
	1,085	4,710	434,088	0,434		
	1,005	4,074	405,344	0,405		
A4 <sup>4</sup>	1,011	8,702	860,717	0,861	0,911	
	1,016	10,082	992,335	0,992		
	1,005	8,830	878,631	0,879		

<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC  
<sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC  
<sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC  
<sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste parâmetro, relacionando os dados das médias das amostras A1 e A2, nota-se uma pequena diferença no nitrogênio total presente nas leiras com e sem EC, sendo esta um fator pouco determinante no parâmetro nitrogênio, quando as leiras de compostagem forem submetidas a condições semelhantes às construídas pelo autor.

Já para a amostra A4, seu valor deu considerável diferenciação dos demais resultados, podendo ser pelas matérias primas utilizadas para

construção desta leira (p. ex. resíduos orgânicos com maior teor de nitrogênio) ou pelo limitado ponto de coleta das amostras de ambas as leiras. Outro item a ser considerado é o tempo de maturação desta, onde que este valor era mais esperado do que o apresentado pela amostra A3, as quais apresentam tempos de maturação iguais.

Neste parâmetro, as amostras A1 e A4 se encontraram acima do limite mínimo de 0,5%, diferentemente das amostras A2 e A3. Estas últimas por pouco não alcançaram o mínimo. Para a amostra A2, alguns fatores podem ter influenciado este valor, como o caso de não ter sido maturada por completo, não agregando a quantidade de nitrogênio necessária, fato este também aplicado a amostra A1, que se atingisse a maturação completa, poderia por aumentar o valor obtido. Agora para a amostra A3, seu valor não atingiu o valor esperado, onde, provavelmente, a maior influencia deste foi o ponto de amostragem adotado, havendo maiores concentrações de carbono e com baixas concentrações de nitrogênio, como podemos ver nos dados apresentados pela tabela anterior.

#### 5.5.1.4 Carbono orgânico

Estão representados na tabela a seguir, os resultados dos ensaios laboratoriais para o parâmetro carbono orgânico.

**Tabela 8:** Resultados das análises de carbono orgânico dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	Massa TC <sup>5</sup>	Massa IC <sup>6</sup>	TC	IC	OC <sup>7</sup>	Média	Limite
	(mg)	(mg)	(%)	(%)	(%)		
	mg	mg	%	%	%	%	Classe C
A1 <sup>1</sup>	50,2	50,2	25,75	1,115	24,6350	25,50	15% mínimo
	50,1	50,2	27,53	1,159	26,3710		
A2 <sup>2</sup>	50,5	50,6	26,33	0,7706	25,5594	23,10	
	50,7	50,4	21,58	0,9392	20,6408		
A3 <sup>3</sup>	50,2	50,1	16,78	0	16,7800	18,98	
	50,6	50,1	21,38	0,2042	21,1758		
A4 <sup>4</sup>	50,1	50,2	16,05	3,705	12,3450	16,04	
	50,2	50	23,71	3,981	19,7290		

<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC  
<sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC  
<sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC  
<sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC

<sup>5</sup> carbono total
<sup>6</sup> carbono inorgânico
<sup>7</sup> carbono orgânico

Fonte: Elaborada pelo autor.

Conforme a tabela anterior, para os valores das médias do carbono orgânico das amostras A1 e A2, nota-se uma baixa variação dos resultados. Para estes, até mesmo os valores de carbono total e inorgânico deram semelhantes, não evidenciando alterações expressivas quando o processo de compostagem utiliza EC, quando submetidas as mesmas condições de procedimentos e intempéries.

Os dados das amostras A3 e A4 apresentaram maior diferença dos resultados, mas fatores como o ponto de amostragem e as matérias primas utilizadas no processo das amostragens, tendem a interferir neste resultado. Neste parâmetro, esperava-se diferença de valores entre as amostras A1 e A2 com as amostras A3 e A4, por apresentarem tempos de maturação diferentes, onde que com o passar do tempo, a tendência é na diminuição do carbono até sua maturação completa.

Todas as amostras apresentaram o mínimo necessário apresentados pelo MAPA. Mas, somente analisando que este parâmetro está acima do limite mínimo estabelecido, não quer dizer que são bons produtos para utilização na agricultura, precisando de um aprofundamento nos demais parâmetros ainda a serem considerados, pois há correlações entre esta característica com outras a frente abordadas.

#### 5.5.1.5 Relação C/N

Com os respectivos dados apresentados na tabela 9, estão a relação entre o carbono orgânico e o nitrogênio total, sabendo-se quantas partes de carbono existem no fertilizante para cada parte de nitrogênio.

**Tabela 9:** Resultados das relações C/N dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	Carbono Orgânico	Nitrogênio Total	Relação C/N	Limite Classe C
A1 <sup>1</sup>	25,50	0,564	45,22	20 máximo
A2 <sup>2</sup>	23,10	0,464	49,78	
A3 <sup>3</sup>	18,98	0,412	46,03	
A4 <sup>4</sup>	16,04	0,911	17,61	

- |   |
|---|
| <p><sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC</p> <p><sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC</p> <p><sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC</p> <p><sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC</p> |
|---|

Fonte: Elaborada pelo autor.

Avaliando as relações exibidas na tabela anterior, quando comparados os dados das amostras A1 e A2, vê-se valores bem aproximados da relação C/N, mesmo porque os valores, tanto de carbono orgânico quanto de nitrogênio total, são semelhantes, não podendo a relação de C/N ser diferente.

Nas amostras A3 e A4, observa-se valores bem distintos entre si, isso porque quando analisados os valores de nitrogênio total, há uma boa discrepância de resultados, o que altera de forma significativa no resultado final da relação entre o carbono orgânico, que pouco alterou, com o nitrogênio total. A amostra A3 não obteve bom resultado, podendo ser, principalmente, pelo ponto de coleta da amostra, havendo maiores quantidades de materiais carboníferos, como exemplo de poda e palha, interferindo de forma significativa nos resultados.

As amostras A1 e A2 ainda apresentam altos valores da relação C/N, pois ainda não estavam completamente maturadas e curadas no momento em que foram feitas as coletas, não agregando muitas partes de nitrogênio que ainda estavam por fixar no composto quando completamente maturado.

O parâmetro que mais apresentou divergências quando comparados com os valores exigidos pelo MAPA foi a relação C/N, a qual depende de dois fatores pré estabelecidos, carbono e nitrogênio, e que um deve acompanhar o outro, assim atingindo o padrão proposto. Conforme a tabela 9, os valores das amostras A1, A2 e A3 passaram do dobro do limite máximo, não garantindo a qualidade necessária exigida pelo MAPA. Nos casos das amostras A1 e A2, como citado anteriormente, essa relação depende tanto de carbono, quanto de nitrogênio, e como estas leiras ainda estavam em fase de maturação, já era esperado que não atenderiam os padrões exigidos pelo MAPA. Em relação à amostra A3, novamente a explicação mais provável foi no momento da coleta, pela limitação para garantir que estavam com EC, assim recolhendo grandes concentrações de carbono e menores de nitrogênio, influenciando assim nas análises finais. Já para a amostra A4, este parâmetro mostrou que, além de se enquadrar nos limites de

carbono e nitrogênio, sua relação também está nos padrões estabelecidos, como mostra a tabela 9.

#### 5.5.1.6 Capacidade de Troca de Cátions (CTC)

Estão apresentadas na tabela 10 os valores das capacidades de troca de cátions das amostras.

**Tabela 10:** Resultados das análises de capacidade de troca de cátions dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	CTC mmol/kg	Limite Classe C
A1 <sup>1</sup>	263,34	Conforme declarado
A2 <sup>1</sup>	268,22	
A3 <sup>1</sup>	259,04	
A4 <sup>1</sup>	199,97	
<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC <sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC <sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC <sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC		

Fonte: Elaborada pelo autor.

Com base nos resultados, a amostra A4 teve a maior disparidade entre as 4 amostras, estando mais distante dos valores das demais. Comparando os valores de A1 e A2, estes obtiveram semelhantes resultados, próximos da amostra A3. Essa discrepância da amostra A4 pode ter sido ocasionada pelo fato de que, para efetuar esta análise, a quantidade amostral é relativamente pequena, de 2g, e o laboratório ao utilizar tal material, tenha pego uma parte que possua uma menor quantidade de cátions retidos naquela superfície que os demais.

Para os valores de CTC, não tem uma tolerância previamente exigida pelo MAPA, devendo-se apresentar e declarar qual a representatividade desta análise, que será aprovada ou não após declarado.

#### 5.5.1.7 Relação CTC/C

Estão discriminados a seguir, os valores das relações entre a capacidade de troca de cátions com o carbono orgânico.

**Tabela 11:** Resultados das análises da relação CTC/C dos fertilizantes orgânicos compostos.

Amostra	Capacidade de Troca de Cátions	Carbono Orgânico	Relação CTC/C	Limite Classe C
	mmol/kg	%		
A1 <sup>1</sup>	263,34	25,50	10,33	Conforme declarado
A2 <sup>2</sup>	268,22	23,10	11,61	
A3 <sup>3</sup>	259,04	18,98	13,65	
A4 <sup>4</sup>	199,97	16,04	12,47	
<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC <sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC <sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC <sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC				

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste item, observa-se que os resultados ficaram próximos, mas que as amostras A1 e A2 obtiveram menores valores nesta relação, indicando que o grau de maturação destas está mais menor que os das amostras A3 e A4, mas que esta diferença é sutil. Esta diferença já era esperada, pelo fato de que os produtos das amostras possuem tempos de maturação diferentes.

Da mesma forma que o parâmetro CTC, este não tem limite máximo apresentado pelo MAPA, necessitando declaração ao órgão para posterior aprovação.

### 5.5.2 Quadro final dos dados laboratoriais e das tolerâncias para fertilizante orgânico composto.

De maneira sintética, na tabela a seguir estão apresentados todos os resultados obtidos e dos limites exigidos pelo MAPA, discutidos no tópico 5.5.1.

**Tabela 12:** Comparativo dos resultados das análises laboratoriais com os limites do MAPA.

PARÂMETRO	un.	LIMITE Classe C	Ensaio Físico-Químicos			
			A 1 <sup>1</sup>	A 2 <sup>2</sup>	A 3 <sup>3</sup>	A 4 <sup>4</sup>
CTC	mmol/Kg	conforme declarado	263,34	268,22	259,04	199,97
C	%	15 (mín.)	25,50	23,10	18,98	16,04
N	%	0,5 (mín.)	0,56	0,46	0,41	0,91



pH	-	6,5 (mín.)	6,95	6,87	6,89	6,79
Relação C/N	-	20 (máx.)	45,22	49,78	46,03	17,61
Relação CTC/C	-	conforme declarado	10,33	11,61	13,65	12,47
Umidade	%	50 (máx.)	51,42	52,66	48,63	40,94
<sup>1</sup> leira construída pelo autor, com EC <sup>2</sup> leira construída pelo autor, sem EC <sup>3</sup> leira maturada utilizada para comparação, com EC <sup>4</sup> leira maturada utilizada para comparação, sem EC						

Fonte: Elaborada pelo autor.



## 6 CONCLUSÃO

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo principal avaliar tanto o comportamento de diferentes leiras de compostagem, quanto o seu produto final, quando utilizadas embalagens compostáveis no processo de gestão dos resíduos orgânicos. Contudo, o cumprimento dos objetivos específicos, marcaram caminhos concisos para a obtenção dos resultados, atingidos conforme as conclusões a seguir.

Notou-se que, após montadas leiras de compostagem com e sem embalagem compostável, e monitorados os parâmetros de temperatura e pH ao longo do tempo, as embalagens compostáveis não interferiram de forma perceptível no processo de compostagem, a partir dos dados coletados, diagnosticando comportamentos semelhantes quando comparados os resultados.

Após o término do processo de compostagem, verificou-se que as embalagens compostáveis testadas degradaram de forma eficiente quando submetidas às condições físico, química e biológica do processo de compostagem.

Como as embalagens compostáveis foram degradadas e se agregaram ao fertilizante orgânico composto, após feitos ensaios laboratoriais dos parâmetros de qualidade, analisou-se que os resultados das amostras com e sem embalagens compostáveis foram semelhantes, não alterando nas propriedades intrínsecas do produto final.

Ainda que, com reduzido tempo de maturação, as leiras com e sem embalagens compostáveis obtiveram poucos parâmetros fora dos limites de qualidade estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), conforme a Instrução Normativa 25. Com resultados bem próximos, a amostra com embalagem compostável apresentou 2 parâmetros fora dos limites permitidos, são eles a relação C/N e a umidade, enquanto que a amostra sem embalagem compostável, apresentou 3, sendo eles o nitrogênio total, a relação C/N e a umidade.

Com base nos resultados apresentados e discutidos, pôde-se observar que é possível o uso de embalagens compostáveis na gestão de resíduos orgânicos, sem que esta intervenha no processo de compostagem e nos parâmetros de garantia analisados, proporcionando uma maior sanidade e higiene para a reciclagem de resíduos orgânicos,

principalmente no que diz respeito à higienização das bombonas e consumo de água para lavá-las.

Assim, como a embalagem compostável degradou e não alterou o comportamento do processo de compostagem e nem a qualidade do produto final, vê-se que há outros elementos a serem considerados e que interferem mais significativamente no processo de compostagem que o uso de embalagens compostáveis, por exemplo a composição dos resíduos orgânicos utilizados e as intempéries climáticas.

Por fim, uma dificuldade vivenciada durante o período de monitoramento das leiras foi os altos níveis pluviométricos registrados. Como consequência, a aeração, a princípio passiva, teve que ser feita manualmente e com mais frequência para superar as condições de alta umidade e temperatura relativamente baixa no interior das leiras.

A futuros estudos, sugere-se ampliar o número de materiais compostáveis a serem testados, incrementando outros tipos de biopolímeros de diferentes origens de matérias primas. Também, aumentar a quantidade de embalagens inseridas nas leiras, representando uma possível coleta domiciliar, a qual demanda menores quantidade de resíduos orgânicos por biopolímeros utilizado. Avaliar os aspectos e impactos sociais, culturais e econômicos causados pelos bioplásticos, bem como sua aceitação no mercado. Avaliar as emissões de gases de efeito estufa causadas por biopolímeros, quando submetidos ao processo de compostagem, analisando sua significância.

Recomenda-se, para a aplicabilidade deste trabalho, uma atenção especial à construção das leiras, buscando a maior semelhança possível dos resíduos utilizados na compostagem. Cuidado no recolhimento das amostras, tendo em vista que cada fração da leira, se não for muito bem homogeneizada, pode acarretar alteração dos resultados laboratoriais. Por fim, aprender e aperfeiçoar o máximo de conhecimento possível, sempre ao encontro da sustentabilidade.

Constata-se que a utilização de embalagens compostáveis para o gerenciamento de resíduos orgânicos vem sendo cada vez mais utilizadas, sendo um tema cada vez mais debatido em diversas áreas. Assim sendo, é importante referir que este trabalho não termina aqui, o qual poderá ter prosseguimento e ser aprimorado, buscando sempre alternativas sustentáveis para promoção da saúde ambiental.

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANTUNES, Adelaide. **Setores da Indústria Química e Orgânica**. Rio de Janeiro: E-papers, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE BIOPOLÍMEROS COMPOSTÁVEIS E COMPOSTAGEM. **Polímeros Biodegradáveis e Compostáveis**. Disponível em: <<http://www.abicom.org.br/#!publicaes/cltys>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos do Brasil**: 2014. São Paulo, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9191**: Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004**: Classificação de resíduos sólidos urbanos. São Paulo, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11174**: Armazenamento de resíduos classes II - não inertes e III - inertes. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15448-2**: Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis – Parte 2: Biodegradação e compostagem – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2008.

BIDONE, F. R. A et al. **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais**: eliminação e valorização. São Paulo: PROSAB, 2001.

BRADY, Nyle C; WEIL, Ray R. **Elementos da Natureza e Propriedades dos Solos**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.

BRASIL. **Lei n. 6938, de 31 de agosto de 1981.** Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L6938.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2015.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS); altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm)>. Acesso em: 25 nov. 2015.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa 25, de 23 de julho de 2009:** Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Disponível em: <<http://www.laborsolo.com.br/arquivos/normativas/INM25.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Brasília, 2012.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Articulação Institucional e Cidadania Ambiental. Departamento de Cidadania e Responsabilidade Socioambiental. Coordenação da Agenda 21. **Agenda 21 brasileira:** avaliação e resultados. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1992.

CALIJURI, Maria do Carmo; CUNHA, Davi Gasparini Fernandes. **Engenharia Ambiental:** Conceitos, Tecnologia e Gestão. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

COLTRO, Leda; SARANTÓPOULOS, Claire I.G.L; JESUS JR, Ildebrando A. **Biopolímeros Usados em Embalagem:** propriedades e aplicações. São Paulo, 2015.

COMUNIDADE DAS NAÇÕES EUROPEIAS - **Directiva 75-442**. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~jotace/legislacao/D75-442-CEE.doc>>. Acesso em: 15 nov. 2015

DA COSTA, Sandro Luiz. **Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos**: Aspectos Jurídicos e Ambientais. Aracaju: Evocati, 2011.

DE SOUSA, Julio Seabra Inglez, et al. **Enciclopédia Agrícola Brasileira**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

FECHINE, Guilhermino José Macêdo. **Polímeros Biodegradáveis**: tipos, mecanismos, normas e mercado mundial. São Paulo: Mackenzie, 2013.

FERNANDES, Fernando. **Manual prático de compostagem de biossólidos**. Londrina: PROSAB, 1999.

FULGENCIO, Paulo Cesar. **Glossário – Vade Mecum**. Rio de Janeiro: Mauad, 2007.

GARCIA, B; HUGO, R. **Guía Tecnológica Para El Manejo Integral Del Sistema Productivo de la Caña Panelera**. Mosquera: Corpoica, 2007.

GUIDONI, Lucas, et al. **Compostagem Domiciliar**: Implantação e Avaliação do Processo. Santa Cruz do Sul: Técnico-Lógica, 2013.

INÁCIO, Caio de Teves; MILLER, Paul Richard Momsen. **Compostagem**: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 16 nov. 2015.

LIMA, Luiz Mario Queiroz. **Lixo** : tratamento e biorremediação. 3. ed. São Paulo: Hemeis, 1995.

LOURENÇO, Nelson Miguel Guerreiro. **Manual de Vermicompostagem e Vermicultura para a Agricultura Orgânica**. Porto: Publindústria, 2014.

MAGRINI, Alessandra. **Impactos Ambientais Causados pelos Plásticos: uma Discussão Científica a Respeito dos Fatos e dos Mitos**. 2 ed. Rio de Janeiro: E-Papers, 2012.

MALAVOLTA, E; PIMENTEL-GOMES, F; ALCARDE, J.C. **Adubos e Adubação**. São Paulo: Novel, 2002.

MEIRA, A. M.; CAZZONATTO, A. C.; SOARES, C. A. **Manual básico de compostagem** – série: conhecendo os resíduos. Piracicaba: USP Recicla, 2003.

MONTEIRO, José Henrique Penido et al; coordenação técnica Victor Zular Zveibil. **Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MOTA, Carlos Miguel Costa. **Desenvolvimento de embalagem biodegradável para aplicação na agricultura**. Braga, 2013.

NELSON, E.W, et al. **Ambiente: Tecnologias**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

OLIVEIRA, Arlene Maria Gomes; AQUINO, Adriana Maria de; NETO, Manoel Teixeira de Castro. **Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico**. Cruz das Almas: Embrapa, 2005.

OLIVEIRA, de Bruna; VIEIRA, Daniela Pravato; SILVA, Jennifer Diane Kraisch; DOHLER, Lucas; SANTOS, Vanessa Fischer dos; MORAES, Ana Carolina. **Estudo comparativo entre a degradação do poli (l-ácido láctico) (plla) e do polietileno de alta densidade (pead) em solo compostado**. Disponível em: <[www.sociesc.org.br/reis/index.php/reis/article/download/46/87](http://www.sociesc.org.br/reis/index.php/reis/article/download/46/87)>. Acesso em: 23 nov. 2015.

PEREIRA NETO, Joao Tinoco. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.



PRIMAVESI, Ana. **Manejo ecológico do solo:** A agricultura em regiões tropicais. São Paulo: Nobel, 1979.

QUARESMA, João Bitencourt. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos da Cidade de Monte Alegre.** Belém: CPRM/Primaz, 1998.

ROSCOE, Renato; MERCANTE, Fábio Martins; SALTON, Júlio Cesar. **Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Sistemas Conservacionistas.** Mato Grosso do Sul: Embrapa, 2006.

RUDIN, Alfred; CHOI, Phillip. **Ciência e Engenharia de Polímeros.** 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental:** conceitos e métodos. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

SCHOLL, Laura Van; NIEUWENHUIS, Rienke. **Manejo da Fertilidade do Solo.** 1. ed. Wageningen: Stoas Digigraf, 2003.

VERHEIJ, Ed; WAAIJENBERG, Henk. **A Horta de Quintal nas Regiões Tropicais.** 1. ed. Wageningen: Digigraf, 2008.

ZILBERMAN, Isaac. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2. ed. Canoas: ULBRA, 1997.