

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**GIOVANNI TERRA PEIXOTO**

**COMPOSTAGEM DE LODO DE CURTUME COM PODA DE ÁRVORE,  
MARAVALHA E CINZA DE CALDEIRA EM DUAS CONDIÇÕES DE RELAÇÃO  
C/N INICIAL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA**

**2018**

GIOVANNI TERRA PEIXOTO

**COMPOSTAGEM DE LODO DE CURTUME COM PODA DE ÁRVORE,  
MARAVALHA E CINZA DE CALDEIRA EM DUAS CONDIÇÕES DE RELAÇÃO  
C/N INICIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco

**LONDRINA**

**2018**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

COMPOSTAGEM DE LODO DE CURTUME COM PODA DE ÁRVORE,  
MARAVALHA E CINZA DE CALDEIRA EM DUAS CONDIÇÕES DE RELAÇÃO C/N  
INICIAL

por

GIOVANNI TERRA PEIXOTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado no dia 21 de novembro de 2018 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_  
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

---

Prof. Dr. Ajadir Fazolo  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Marcelo Hidemassa Anami  
(UTFPR)

---

Profa. Dra. Tatiane Cristina Dal Bosco  
(UTFPR)  
Orientadora

---

Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus por estar sempre ao meu lado, me protegendo e guiando meus passos.

Agradeço à Universidade Tecnológica Federal do Paraná pela concessão da bolsa TCC.

Aos meus pais Eduardo e Célia, e aos meus irmãos Natália e Eduardo Lucas, pelo incentivo e apoio, que foram muito importantes para mim durante toda graduação. Também, por entenderem minha ausência e ficarem sempre na torcida por mim.

Agradeço a minha namorada Bianca por me ajudar a superar as dificuldades e estar sempre ao meu lado. Obrigado por me fazer crescer e dividir comigo as alegrias e angústias.

Agradeço aos meus irmãos de iniciação científica Andressa Ferreira, Ana Beatriz Segatelli, Basima Abdurahiman e Marcos Cândido, por todo esforço empenhado para que esse trabalho pudesse ser realizado. Em especial, agradeço a Andressa e o Marcão, por serem sempre parceiros e tornarem os momentos mais cansativos em alegria.

Agradeço à Vancouros por fornecer os resíduos necessários para execução deste trabalho, pela parceria e por acreditarem em nosso trabalho. Ao Luís Fernando por realizar a logística de entrega dos materiais e participar das atividades deste experimento. Ao Sr. Alexandre Martines por dar suporte técnico para o experimento e orientação.

Agradeço também a todos que contribuíram direta ou indiretamente com a execução deste trabalho: aos meus amigos Arthur Janoni, Mark Farias, Rodrigo Ghiraldi, Matheus Batista, Thayná Reis, Vitória Califani, Carolina Dinali, Aline Marinhos, Gabriela Simões, Ellen Paim e Ellen Lima, pelo companheirismo durante os cinco anos de curso. Ao Ivan Taiatele Júnior, que mesmo distante, sempre esteve disposto a ajudar e dar conselhos.

Agradeço aos alunos do curso de Engenharia Mecânica Leonardo Chies e Victor Prestes, que, junto dos professores Roger e Janksyn, implementaram a coleta de dados de temperatura automatizada. Este trabalho foi de grande importância, facilitando muito a execução deste experimento e agregou um diferencial ao projeto.

Agradeço aos professores Ajadir Fazolo e Marcelo Hidemassa Anami pelas correções deste trabalho. Ao professor Janksyn Bertozzi pelas sugestões e por estar sempre disposto a ajudar. Em especial, agradeço ao professor Roger Nabeyama

Michels, por todo conhecimento transmitido, pelas análises estatísticas, conselhos dados e por todo carinho com que me orientou.

Por fim, agradeço imensamente a minha “mãe científica”, minha orientadora, Prof<sup>a</sup>. Tatiane Cristina Dal Bosco. Obrigado pela paciência, amizade, confiança, pelos ensinamentos técnicos e de vida. Agradeço o carinho e preocupação comigo, sempre me dando conselhos valiosos, que me fizeram crescer como profissional e como pessoa. Serei eternamente grato por tudo que fez e tem feito por mim.

## RESUMO

PEIXOTO, Giovanni Terra. **Compostagem de lodo de curtume com poda de árvore, maravalha e cinza de caldeira em duas condições de relação C/N inicial**. 2018. 73 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). – Curso de Engenharia Ambiental – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2018.

Grandes quantidades de resíduos sólidos são geradas nas indústrias de curtume em todo Brasil, dentre eles, o lodo da ribeira. O lodo de ribeira possui elevada carga orgânica, podendo ser prejudicial ao meio ambiente se disposto incorretamente. O seu uso na agricultura é uma prática comum, porém, alguns efeitos indesejáveis apontam para a necessidade de tratamento prévio. A compostagem pode ser utilizada para o tratamento deste resíduo. Porém, há poucos estudos que utilizam esta técnica como tratamento do lodo da ribeira. A relação C/N é um parâmetro que deve ser considerado na montagem das leiras, sendo recomendado que tenha, no início do processo, aproximadamente 30:1. No entanto, esta relação pode ser inviável, visto que os resíduos considerados como fonte de nitrogênio são os maiores desafios das indústrias e gerados em maior quantidade. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência de duas relações C/N iniciais, mais baixas do que a indicada pela literatura, no tratamento do lodo de ribeira, via compostagem. Utilizou-se como fonte de carbono a poda de árvores e a maravalha, na presença e na ausência da cinza de caldeira. Foram montadas 16 leiras, com relação C/N inicial calculada de 16:1 e 12:1. O volume era de 288 litros para as leiras sem cinzas e 318 litros para as leiras com cinzas em sua composição. Ao longo de 60 dias foram monitorados parâmetros como pH, temperatura, condutividade elétrica, porcentagem de carbono, porcentagem de nitrogênio, relação C/N, aspecto do material e redução de massa e volume. O pH de todos tratamentos se apresentou alcalino ao final da compostagem, o que indica a possibilidade de utilização do composto para tamponamento do solo. Apenas o tratamento T5 atingiu temperatura superior a 55°C, na fase termofílica, indicando uma possível sanitização dos resíduos. Os tratamentos com poda de árvores foram mais eficientes quanto à redução da relação C/N, destacando-se T5 e T6 com 41,52 e 42,02% de redução, respectivamente. Já os tratamentos com maravalha não ultrapassaram 5,43% de redução da relação C/N. Todos os tratamentos sofreram redução de volume e massa, com destaque para T5 e T6. Houve maior descaracterização dos resíduos com poda de árvore em sua composição. Portanto, os compostos T5 e T6 se destacaram, evidenciando que a melhor relação C/N para iniciar o processo é 16:1, e a fonte de carbono é a poda de árvore.

**Palavras-chave:** Lodo de curtume, resíduo industrial, tratamento de resíduos sólidos.

## ABSTRACT

PEIXOTO, Giovanni Terra. **Composting of tannery sludge with tree pruning, shavings and boiler ash in two conditions of C/N ratio.** 2018. 73 p. Course Conclusion work (Bachelor of Environmental Engineering). - Environmental Engineering Graduation, Federal Technological University of Parana (UTFPR). Londrina, 2018.

Large amounts of solid waste are generated in the tannery industries throughout Brazil, including sludge generated before the tanning step. The sludge generated before the tanning step has a high organic load and can be harmful to the environment if it is disposed incorrectly. Its use in agriculture is a common practice, however, some undesirable effects point to the need for prior treatment. Composting can be used to treat this residue. However, few studies that use this technique to treat tannery sludge. The C/N ratio is a parameter that must be taken into account when assembling the wires, and it is recommended to have approximately 30: 1 at the beginning of the process. However, this relationship may be impracticable, since the waste considered as a source of nitrogen are the biggest challenges of the industries and generated in greater quantity. In this sense, the objective of this work was to evaluate the efficiency of different initial C/N ratios in the treatment of the sludge generated before the tanning stage, through composting, using as pruning the tree pruning and shaving, in the presence and absence of the boiler ash. Sixteen rows were assembled, with initial C/N ratio calculated from 16: 1 and 12: 1. The volume was 288 liters for the ashless litter and 318 liters for the ash litter in its composition. During 60 days parameters such as pH, temperature, electrical conductivity, carbon percentage, nitrogen percentage, C/N ratio, material aspect and mass and volume reduction were monitored. The pH of all treatments was alkaline at the end of the composting, which indicates the possibility of using the compost to correct the soil pH. Only the treatment T5 reached a temperature higher than 55°C during the thermophilic phase, indicating a possible sanitization of the residues. The treatments with tree pruning were more efficient in reducing the C/N ratio, especially T5 and T6 with 41.52 and 42.02% reduction, respectively. On the other hand, the treatments with wood shavings did not exceed 5.43% reduction of the C/N ratio. All treatments underwent volume and mass reduction, with emphasis on T5 and T6. There was greater decharacterization of the residues with tree pruning in its composition. Therefore, the compounds T5 and T6 stood out, evidencing that the best C/N ratio to start the process is 16: 1, and the carbon source is tree pruning.

**Keywords:** Sludge from tannery, industrial waste, treatment of solid waste.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Distribuição da exportação de couro no Brasil por estado.....	16
Figura 2	- Processo de uma indústria de curtume e seus respectivos efluentes.....	20
Figura 3	- Curva padrão da variação da temperatura do resíduo durante o processo de compostagem.....	23
Figura 4	- Variação do índice pH do composto com o tempo de compostagem.....	26
Figura 5	- Local onde foi realizado o experimento (UTFPR-Londrina) .....	31
Figura 6	- Dimensões das leiras de compostagem.....	34
Figura 7	- Modelo de sensor utilizado para coleta de dados de temperatura.....	36
Figura 8	- Hardware da plataforma Arduino utilizado para automatização da coleta de dados de temperatura.....	36
Figura 9	- Temperaturas médias das leiras com relação C/N inicial de 12:1.....	41
Figura 10	- Temperaturas médias das leiras com relação C/N inicial de 16:1.....	42
Figura 11	- Box plot da temperatura média. ....	43
Figura 12	- Temperaturas máximas das leiras com relação C/N inicial de 12:1.....	44
Figura 13	- Temperaturas máximas das leiras com relação C/N inicial de 16:1.....	45
Figura 14	- Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura, para os tratamentos com relação C/N inicial de 12:1.....	48
Figura 15	- Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura para os tratamentos com relação C/N inicial 16:1.....	49
Figura 16	- Temperaturas mínimas das leiras com relação C/N inicial de 12:1.....	50
Figura 17	- Temperaturas mínimas das leiras com relação C/N inicial de 16:1.....	51
Figura 18	- Redução de volume e massa seca, em porcentagem.....	57
Figura 19	- Registro fotográfico no dia da montagem das leiras.....	61



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	-	Geração de efluentes nas etapas do processo (m <sup>3</sup> efluentes / t couro processado) .....	19
Tabela 2	-	Constituição química do lodo de curtume sem segregação de efluentes, em g kg <sup>-1</sup> .....	21
Tabela 3	-	Caracterização inicial dos resíduos.....	32
Tabela 4	-	Composição volumétrica das leiras, em litros.....	34
Tabela 5	-	Temperaturas máximas atingidas e seus respectivos dias para cada tratamento.....	46
Tabela 6		Tempo e temperaturas exigidas para possível sanitização do composto.....	46
Tabela 7	-	Porcentagem de carbono orgânico total de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras) .....	52
Tabela 8	-	Porcentagem de nitrogênio total de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras) .....	53
Tabela 9	-	Relação C/N de cada tratamento no início e final do processo de compostagem, bem como sua % de redução.....	54
Tabela 10	-	pH e Condutividade Elétrica dos resíduos.....	55
Tabela 11	-	pH de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).....	55
Tabela 12	-	Condutividade Elétrica de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras) .....	56
Tabela 13	-	Redução de volume e massa seca, em porcentagem.....	58
Tabela 14	-	Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.	59

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1	- Caracterização dos tipos de curtumes.....	17
Quadro 2	- Etapas que constituem a ribeira e suas características.....	18
Quadro 3	- Fases da compostagem e suas características em relação à temperatura.....	23
Quadro 4	- Frequência das análises e monitoramento.....	35
Quadro 5	- Registros fotográficos para cada tratamento ao final do processo de compostagem.....	61

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
3.1	INDÚSTRIA COUREIRA.....	16
3.1.1	Importância no Brasil.....	16
3.1.2	Processo produtivo.....	17
3.1.3	Efluentes e resíduos sólidos gerados na indústria de curtume.....	18
3.2	COMPOSTAGEM.....	21
3.2.1	Definição e benefícios.....	21
3.2.1.1	Temperatura.....	22
3.2.1.2	Relação C/N.....	24
3.2.1.3	pH.....	25
3.2.1.4	Microrganismos.....	26
3.2.1.5	Aeração.....	26
3.2.1.6	Umidade.....	27
3.2.1.7	Granulometria.....	27
3.3	COMPOSTAGEM DE LODO DE CURTUME.....	28
3.3.1	Uso do lodo de curtume compostado na agricultura.....	29
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
4.1	LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	31
4.2	RESÍDUOS.....	31
4.3	MONTAGEM DAS LEIRAS.....	31
4.4	COMPOSIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS.....	34
4.5	MONITORAMENTO DO PROCESSO: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS.....	35
4.5.1	Temperatura.....	35
4.5.2	pH e Condutividade Elétrica.....	36
4.5.3	Umidade, Série de Sólidos e Carbono orgânico e total.....	37
4.5.4	Nitrogênio Total.....	38
4.5.5	Fósforo e Potássio.....	39
4.5.6	Redução de massa e volume e monitoramento da descaracterização do	

	material.....	39
4.5.7	Análise dos dados.....	40
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>
5.1	TEMPERATURA.....	41
5.2	CARBONO, NITROGENIO E RELAÇÃO C/N.....	52
5.3	pH e CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE).....	54
5.4	REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME.....	57
5.5	LEGISLAÇÃO REFERENTE AO REGISTRO DO COMPOSTO.....	58
5.6	ASPECTO DO MATERIAL.....	60
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias, principalmente as de processamento de produtos oriundos da agricultura e da pecuária, geram uma quantidade significativa de resíduos ricos em matéria orgânica (AMORIM et al., 2011; SINGH et al., 2014).

Os curtumes, em especial, geram, em seus processos, resíduos sólidos com potencial fertilizante e corretivos de acidez do solo (POSSATO et al., 2014). Por outro lado, esses resíduos, dependendo da parte do processo produtivo em que são gerados, apresentam potencial poluidor, pois concentram elevada carga orgânica e inorgânica, como fenóis, sulfetos, sódio e cromo (MARTINES et al., 2006).

A grande preocupação relacionada ao gerenciamento de lodo de curtumes está associada à presença de cromo, utilizado no processo de curtimento. A utilização do lodo de curtume como fertilizante na agricultura, considerando esta preocupação com a presença de cromo em sua composição, foi objeto de estudo de diversos pesquisadores (PASSIANOTO e RODRIGUES, 2001; TEIXEIRA et al., 2005; GONÇALVES et al., 2014; POSSATO et al., 2014). Porém, pouco se investiga sobre o tratamento do lodo de ribeira e seu posterior potencial uso como fertilizante. Este lodo é caracterizado por apresentar baixa ou nula concentração de cromo, tendo em vista que nesta etapa do processo produtivo a pele ainda não teve contato com o cromo. Deste modo, quando o curtume possui linhas segregadas de coleta dos efluentes nas diferentes etapas é possível fazer o seu aproveitamento como fertilizante orgânico.

A ribeira é a etapa do processo produtivo que consiste na retirada da gordura, carne e pelos, além de outros materiais aderidos ao tecido subcutâneo e adiposo, o que facilita a penetração dos produtos químicos aplicados em etapas posteriores, além da hidratação da pele (MARTINES, 2005; MOURA et al., 2014).

Considerando que o lodo de ribeira apresenta, dentre outras características, alta concentração de matéria orgânica e altos teores de nitrogênio e sódio (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; MARTINES, 2005), uma técnica para tratamento deste resíduo é a compostagem, que consiste num processo aeróbio onde os microrganismos realizam a decomposição da matéria orgânica e resulta num produto final mais estável, sendo, muitas vezes, utilizado como fertilizante orgânico no cultivo de determinadas culturas (KIEHL, 1985).

No processo de compostagem, dois ou mais resíduos são misturados visando promover o equilíbrio da relação C/N, importante para garantir condições de

desenvolvimento dos microrganismos, sendo o carbono importante como fonte de energia e o nitrogênio para síntese de proteínas (KIEHL, 2004). De acordo com Kiehl (2004) a relação C/N de uma mistura de resíduos no início do processo de compostagem deve estar entre 25/1 e 35/1. No entanto, muitas vezes, esta proporção não viabilizará o processo, tendo em vista a indisponibilidade de resíduos fonte de carbono na indústria.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficiência de diferentes relações C/N iniciais no tratamento do lodo de ribeira, via compostagem, a partir da mistura com poda de árvores, maravalha e cinza de caldeira.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar diferentes relações C/N iniciais para a compostagem de lodo de ribeira misturado com poda de árvores, maravalha e cinza de caldeira.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar físico-quimicamente o lodo, a poda de árvores e a maravalha de modo a determinar a proporção de resíduos para a montagem das leiras em relações C/N iniciais de 12/1 e 16/1;
- Monitorar o processo de compostagem e avaliar sua eficiência a partir de parâmetros como pH, temperatura, condutividade elétrica, carbono, nitrogênio e relação C/N;
- Acompanhar a descaracterização dos resíduos e determinar a redução de massa e volume ao final do processo;
- Verificar a influência da cinza de caldeira utilizada na composição das leiras frente aos parâmetros monitorados.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

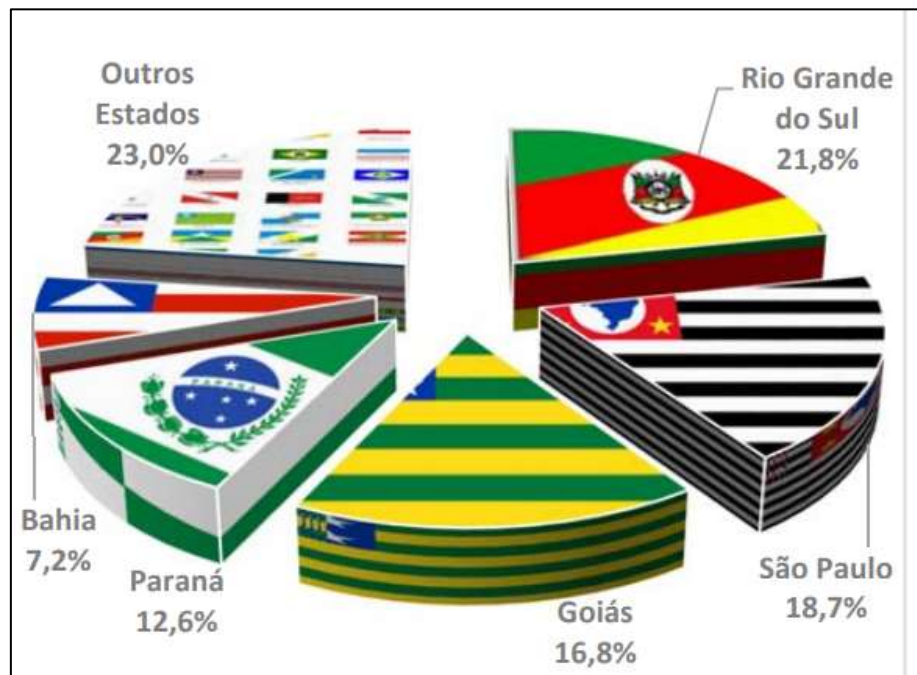
#### 3.1 INDÚSTRIA COUREIRA

##### 3.1.1 Importância no Brasil

O Brasil possui um dos maiores rebanhos de bovinos do mundo, com aproximadamente 215 milhões de animais em 2017 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017a). O país também é um dos polos produtores de couro, devido à existência de recursos naturais utilizados no processo, grande rebanho e mão de obra de baixo custo (SANTOS et al., 2002).

Na região sul do Brasil concentra-se a maior parte das indústrias de couro no país e a exportação também tem expressividade nessa região (Figura 1) (CICB, 2018).

**Figura 1** - Distribuição da exportação de couro no Brasil por estado.



Fonte: Centro das Indústrias de Curtumes do Brasil, 2018.

Uma característica da indústria de couro é a tecnologia eficiente utilizada na produção e uso intensivo de mão de obra pouco qualificada, levando a reduzidas barreiras à entrada de novas empresas (ABDI, 2011).

Segundo dados do Centro das Indústrias de Couro do Brasil (CICB, 2018) estima-se que cerca de 51% da produção de couro é destinada à exportação física



direta de couro e 24% a exportações indiretas de peles, na forma de calçados e outros artigos de couro. Esta evidência indica a expressividade do setor de exportações desse produto.

O curtume tem se mostrado como uma atividade de relevância devido a sua importância econômica e social, gerando empregos e com um faturamento estimado em mais de US\$ 2 bilhões/ano (CICB, 2018).

### 3.1.2 Processo produtivo

O processo produtivo em curtumes constitui-se da transformação da pele em couro. A produção exige adições de produtos químicos, intercaladas por lavagens e processos mecânicos (PASSOS, 2007).

Após o abate, a pele deve passar por um pré-tratamento, no qual geralmente emprega-se o sal para sua conservação, com finalidade de interromper a decomposição da pele até o início do processo na indústria (MARTINES, 2005).

Após essa etapa de conservação da pele, os curtumes podem ser classificados de acordo com sua etapa de processamento do couro conforme o Quadro 1.

**Quadro 1** - Caracterização dos tipos de curtumes.

Curtume de Wet Blue	Desenvolve o primeiro processamento de couro. Do couro salgado é retirado os pêlos, gorduras e carne. Nesse processo acontece o primeiro banho de cromo, onde o couro passa a exibir um tom azulado e molhado.
Curtume de Semi-Acabado	Utiliza como matéria-prima o couro wet blue e o transforma em couro crust (semi-acabado). Seu produto já apresenta características do produto final, pois já foi recurtido e tingido, porém ainda sem acabamento.
Curtume de Acabamento	Transforma o couro crust em couro acabado, processo que confere ao couro seu aspecto definitivo.
Curtume Integrado	Realiza todas as operações, processando desde a pele salgada até o couro acabado.

Fonte: Adaptado de Pacheco, 2005.

O processo de uma indústria de curtume integrado compõe-se das seguintes etapas: ribeira, curtimento e acabamento (PACHECO, 2005).

A ribeira consiste no tratamento químico e mecânico das peles, na sua limpeza e hidratação, de maneira a prepará-la para a fase do curtimento. É

constituída por etapas em meio aquoso, o molho e o caleiro, e por outra mecânica, a descarna (MOURA et al., 2014), conforme o Quadro 2.

**Quadro 2** – Etapas que constituem a ribeira e suas características.

<b>Etapa</b>	<b>Característica do processo</b>
Molho	Lavagem da pele para retirada do sal e impurezas, além da sua hidratação.
Descarna	Retirar os restos de gordura e carne, bem como os materiais aderidos ao tecido subcutâneo e adiposo.
Caleiro	Ocorre o relaxamento da estrutura fibrosa da pele, preparando-a para o curtimento.

Fonte: Adaptado de Moura et al., 2014.

Na fase do curtimento as peles provenientes da descarna são tratadas em meio aquoso, de forma a ficarem termicamente estáveis e resistentes à decomposição (AQUIM, 2009).

O curtimento pode ser realizado empregando soluções de origem mineral, vegetal ou sintéticas. O método mais utilizado para o curtimento das peles bovinas é o mineral, que usa o sulfato básico de cromo no processo, com 97,2% do total nacional de peles curtidas (IBGE, 2017b). Nesse método o cromo se encontra na forma trivalente (PACHECO, 2005).

O acabamento confere ao couro suas características finais como firmeza, cor e maciez, dependendo da finalidade que o couro será destinado (DETTMER, 2012).

### 3.1.3 Efluentes e resíduos sólidos gerados na indústria de curtume

Os processos realizados na indústria de couro, de acordo com Pacheco (2005), envolvem a utilização de água e resultam na geração de efluentes, que são encaminhados para a estação de tratamento de efluentes (ETE). A geração de efluentes é diferente para cada etapa da indústria de curtume, e como é possível observar na Tabela 1, o maior volume gerado tem origem da ribeira.

**Tabela 1** - Geração de efluentes nas etapas do processo (m<sup>3</sup> efluentes / t couro processado).

Etapa do Processo	Efluentes gerados	
	m <sup>3</sup> t <sup>-1</sup>	% do Total
Ribeira	21,6	67,6
Curtimento	6,9	21,7
Acabamento	3,43	10,7
Total	31,93	100

Fonte: Adaptado de Claas e Maia, 1994.

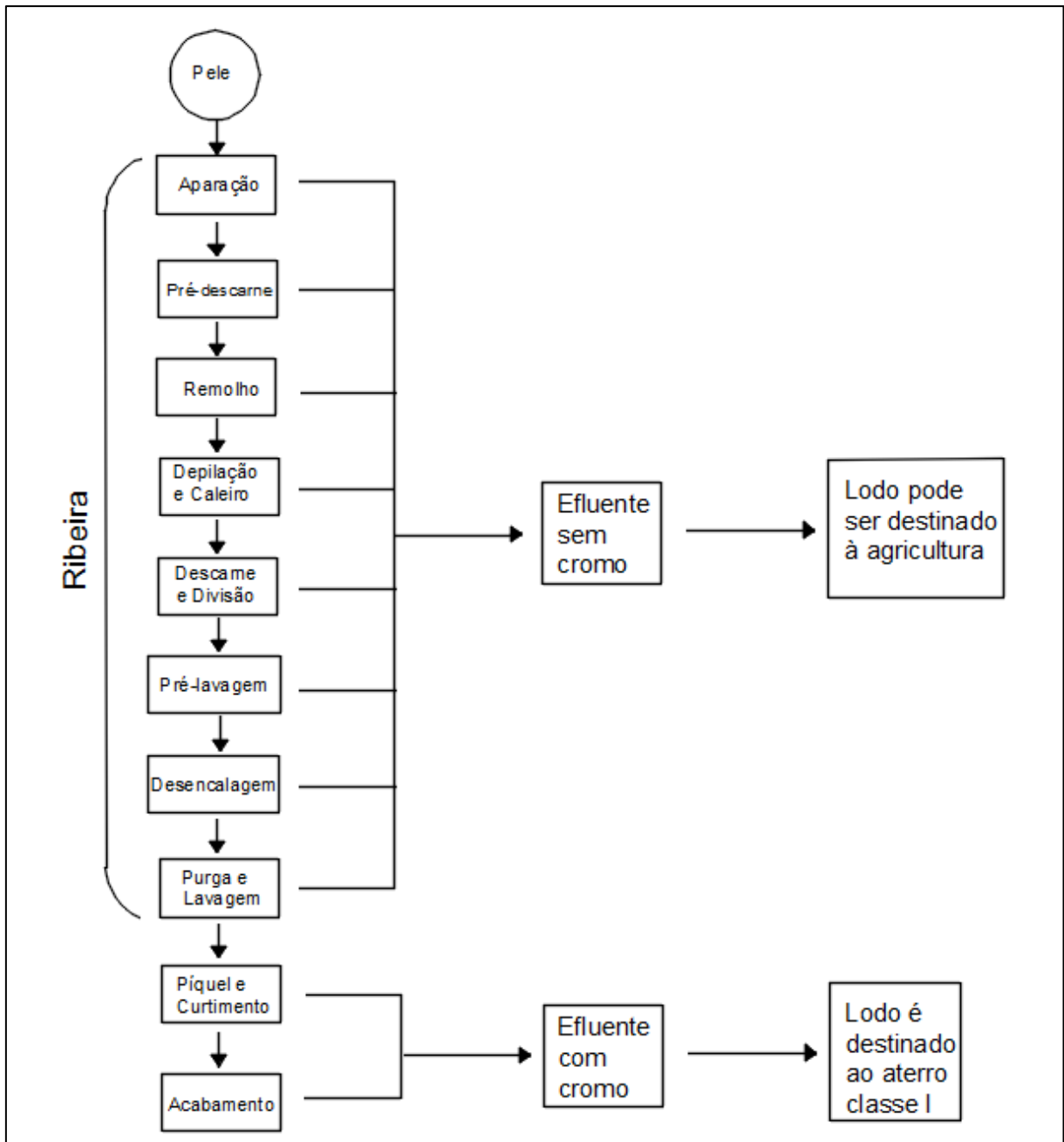
Os métodos utilizados para o tratamento destes efluentes acarretam na geração de lodo (CLAAS; MAIA, 1994). Andreoli et al. (2006) definem lodo como:

Subprodutos sólidos do tratamento de efluentes líquidos. Nos processos biológicos de tratamento, parte da matéria orgânica é absorvida e convertida, fazendo parte da biomassa microbiana, denominada genericamente de lodo biológico ou secundário, composto principalmente de sólidos biológicos (ANDREOLI et al., 2006).

Segundo Claas e Maia (1994) cada pele processada gera, em média, 12 kg de lodo, com geração em maior quantidade do lodo da ribeira e o lodo primário da estação de tratamento de efluentes (ETE). Estes são constituídos de matéria orgânica de origem animal e de sais inorgânicos com potencial fertilizante e corretivo de acidez do solo (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000).

Martines (2009) afirma que a separação dos efluentes que contém cromo, antes de chegar na estação de tratamento de efluentes (ETE), reduz significativamente o teor de cromo contido no lodo primário, que normalmente fica abaixo de 1000 mg kg<sup>-1</sup>. É possível observar, a partir da Figura 2, um processo produtivo de uma indústria de curtume onde os efluentes são tratados separadamente, trazendo vantagens como o aproveitamento do lodo de ribeira na agricultura.

**Figura 2** – Processo de uma indústria de curtume e seus respectivos efluentes.



Fonte: adaptado de Martines (2005).

O lodo do curtume, quando não há separação dos efluentes da ribeira (sem cromo) e do curtimento (com cromo), pode conter altos teores de metais, variando de 8 a 17,3, g kg<sup>-1</sup> conforme a Tabela 2.

**Tabela 2** - Constituição química do lodo de curtume, sem segregação de efluentes, em g kg<sup>-1</sup>

Elemento	Cavallet e Selbach (2008)	Alcantara (2007)	Ferreira et al. (2003)
Carbono Total	210,0	239,0	65,1
Nitrogênio Total	31,0	31,2	9,8
Enxofre	14,7	-	13,0
Fósforo	2,0	1,1	2,0
Cálcio	179,0	87,2	20,0
Sódio	15,0	52,5	-
Magnésio	140,0	7,5	0,24
Potássio	0,8	1,7	0,1
Manganês	5,4	6,4	0,26
Cromo	8,0	17,3	8,1

Fonte: Cavallet e Selbach, 2008; Alcantara, 2007; Ferreira et al., 2003.

Martines (2009) afirma que o lodo de curtume, quando aplicado in natura em solos tropicais, pode favorecer a perda de nitrogênio por volatilização de amônia, afetando na qualidade do fertilizante e contribuindo para a poluição ambiental.

O sódio e o cromo, em acúmulo no solo, podem proporcionar impactos negativos sobre o desenvolvimento das culturas e sobre as propriedades físicas do solo (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; MARTINES, 2009). Portanto, devido a estes fatores há necessidade de se estudar e definir uma forma de tratamento para o lodo de curtume, como a compostagem, independente da separação ou não dos efluentes na ETE.

## 3.2 COMPOSTAGEM

### 3.2.1 Definição e benefícios

A compostagem é um processo biológico aeróbio, exotérmico onde ocorre a decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos, e tem como produto final um composto estabilizado biologicamente, mais humificado e com características diferentes dos resíduos que lhe deram origem (KIEHL, 2004; VALENTE et al., 2009; ORRICO JUNIOR et al., 2012).

Para que o processo de compostagem aconteça deve-se promover a mistura de dois resíduos ou mais, sendo um a fonte de carbono e outro a fonte de nitrogênio (THOMSEN, 2000), em proporções que variam de 30 a 40 partes de carbono para

uma parte de nitrogênio. Esta é a condição ideal para desenvolvimento dos microrganismos, em razão da utilização do carbono como fonte de energia e o nitrogênio na reprodução (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 2007).

A compostagem é uma interessante alternativa no tratamento de resíduos com a finalidade de uso posterior do composto no solo, uma vez que esse processo permite o controle de microrganismos patogênicos e pode produzir um insumo agrícola de boa qualidade (COSTA et al., 2005a).

Dentre outras vantagens deste processo, destaca-se a produção de um composto rico em nutrientes e mais assimilável às plantas. Com relação ao uso do composto na agricultura o Ministério do Meio Ambiente (2010) tem a seguinte concepção:

Para os serviços de manejo de resíduos sólidos, o objetivo não é exatamente produzir adubo – o que move o processo não é o produto, mas o fato de que a matéria orgânica presente no resíduo pode ser transformada e reaproveitada, desviando resíduos que normalmente teriam que ser aterrados (MMA, 2010).

A técnica de compostagem promove, portanto, a estabilização da matéria orgânica e resulta na redução significativa do volume e do peso dos resíduos, o que pode oferecer facilidade nas etapas de gerenciamento de resíduos, como armazenamento e transporte (INÁCIO; MILLER, 2009; PEREIRA NETO, 1996).

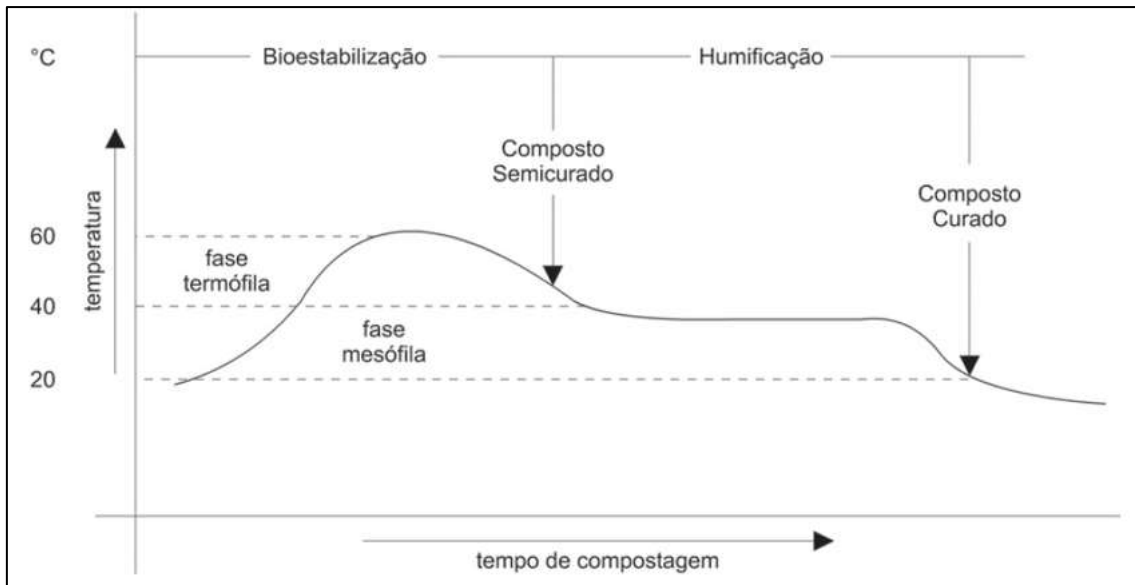
O sucesso do processo depende de fatores como temperatura, relação C/N, umidade, aeração, tamanho das partículas e pH, pois estão relacionados com a atividade metabólica dos microrganismos, indicando a taxa de decomposição e a maturidade do composto (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 2007).

### 3.2.1.1 Temperatura

A compostagem é um processo exotérmico devido à atividade metabólica dos microrganismos (BARREIRA, 2005). Desta maneira, a temperatura é um importante parâmetro para avaliar a intensidade da atividade microbiana e, conseqüentemente, a velocidade dos resíduos (FIALHO, 2007).

A temperatura, além de ser usada como referencial de indicação da qualidade do processo, determina a evolução das populações microbianas e sua representatividade nas fases de degradação (REBOLLIDO et al., 2008), como é possível observar na Figura 3.

**Figura 3** – Curva padrão da variação da temperatura durante o processo de compostagem.



Fonte: adaptado de Kiehl (2004).

A variação da temperatura caracteriza as quatro fases da compostagem, conforme o Quadro 3.

**Quadro 3** - Fases da compostagem e suas características em relação à temperatura.

Fases	Características
Mesofílica (aquecimento)	Nesta fase predominam temperaturas entre 30 e 45 °C. Ocorre a expansão das colônias de microrganismos mesofílicos e conseqüentemente a liberação de calor, devido ao metabolismo exotérmico presente. Portanto dá-se a elevação da temperatura rumo à próxima fase.
Termofílica	A temperatura alcança valores máximos na fase termofílica, geralmente acima de 55 °C, refletindo em uma alta taxa de degradação. O tempo de duração desta fase é determinado por fatores como as características dos resíduos e volume das leiras
Mesofílica (resfriamento)	Nesta etapa ocorre a degradação das substâncias orgânicas mais resistentes que ainda persistiram. Também é marcada pela redução da atividade microbiana e conseqüente resfriamento da leira, além de alta perda de umidade.
Estabilização	Na etapa de estabilização é produzido um composto maturado, estabilizado e com características similares ao húmus. A atividade microbiana decai significativamente e conseqüentemente a taxa de degradação se torna muito baixa.

Fonte: Adaptado de Trautmann et al. (2005); Inácio e Miller (2009).

O aumento da temperatura durante o processo de compostagem é consequência do metabolismo de decomposição microbiana. Segundo Fernandes e Silva (1999) a população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura. Altas

temperaturas proporcionam a inativação de patógenos conforme encontrado em estudos de Costa et al. (2005b), Heck et al. (2013) e Hahn et al. (2012).

A temperatura, quando registra valores entre 40-60°C no segundo ou terceiro dia de compostagem, é sinal que o processo está bem equilibrado. Caso contrário, é sinal de que algum ou alguns parâmetros físico-químicos não estão sendo respeitados, limitando assim a atividade microbiana (FERNANDES e SILVA, 1999).

Em casos que a temperatura ultrapassa 65°C a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo (FERNANDES e SILVA, 1999). Kiehl (2004) afirma que temperaturas acima de 80°C podem resultar na paralisação do processo e risco de combustão espontânea do composto.

A temperatura também é importante para saber quando o processo está finalizado. O composto é considerado estabilizado quando a temperatura atingir valores próximos à temperatura ambiente (TIQUIA et al., 1997).

A coleta de dados de temperatura, geralmente, é realizada manualmente por meio de sensores digitais ou termômetros de mercúrio (LIMA JUNIOR et al., 2017; PEDROSA et al., 2013), o que dificulta uma maior frequência de coleta e confiabilidade nas informações. A automatização da coleta de dados é uma solução para otimizar essa atividade, possibilitando a obtenção de dados com menor intervalo de tempo e conseqüentemente com maior representatividade (MICHELS et al., 2017).

### 3.2.1.2 Relação C/N

Os elementos carbono e nitrogênio são essenciais para o processo de compostagem, sendo o primeiro importante como fonte de energia para os microrganismos e o segundo, para síntese de proteínas (KIEHL, 2004).

Para iniciar o processo de compostagem, a relação C/N ideal deve estar entre 25/1 e 35/1 (KIEHL, 2004). Thomsen (2000) afirma que, de acordo com a exigência dos microrganismos, a compostagem deve ter relação C/N inicial entre 30/1 e 40/1. Porém, como o grande desafio da gestão de resíduos sólidos é a destinação dos resíduos ricos em nitrogênio, pesquisadores buscam obter bom desempenho no processo conduzindo leiras com menor relação C/N inicial (HECK et al., 2013; SBIZARO et al., 2017; ANDRADE et al., 2017).

A relação C/N quando se encontra acima de 50/1 indica deficiência de nitrogênio, e tem como consequência um tempo de maturação prolongado. E caso a



relação C/N esteja abaixo de 10/1 pode haver perda de nitrogênio por volatilização na forma de amônia (KIEHL, 2004; BARREIRA, 2005)

Ao final do processo de compostagem verifica-se uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam  $\text{CO}_2$  em sua respiração (ZHANG; HE, 2006), diminuindo assim a concentração de carbono. Portanto, a relação C/N indica o grau de maturação do composto, apresentando-se maturado numa relação de aproximadamente 10/1 (KIEHL, 2004; VALENTE et al., 2009).

### 3.2.1.3 pH

Outro parâmetro avaliado na compostagem é o pH, que segundo Kiehl (1985), permite avaliar o estado de decomposição da matéria orgânica que foi submetida a um processo de fermentação.

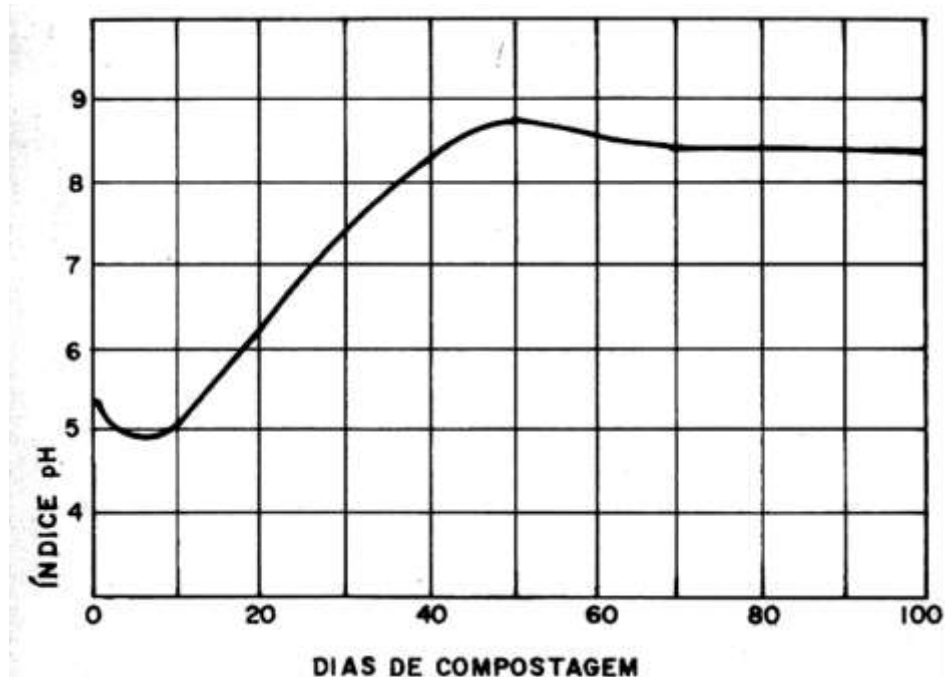
A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontram ativas nesta faixa de pH (RODRIGUES et al., 2006). Porém, Pereira Neto (2007) afirma que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de pH entre 4,5 e 9,5, sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos microrganismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio.

No início da decomposição ocorre a formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial (KIEHL, 1985; VALENTE et al., 2009), conforme a Figura 4.

Ao final da compostagem é esperado que os valores de pH sejam próximos de 8 (KIEHL, 2002), assim a aplicação do composto na agricultura trará vantagens como o efeito tampão no solo (RODRIGUES et al., 2003).

O pH quando ultrapassa o valor de 9,5 pode trazer prejuízos ao processo como a perda de nitrogênio por volatilização, devido à transformação do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) em amônia ( $\text{NH}_3$ ) (MASSUKADO, 2008). Já valores de pH abaixo de 4,5 pode trazer consequências como a redução da atividade microbiana, podendo não alcançar a fase termofílica no processo (ANDREOLI et al., 2001).

**Figura 4** – Variação do índice pH do composto com o tempo de compostagem.



Fonte: Adaptado de Kiehl, 1985.

#### 3.2.1.4 Microrganismos

O processo de compostagem é marcado por uma contínua mudança das espécies de microrganismos envolvidos, devido às modificações nas condições do meio (MILLER, 1992), contudo os principais são bactérias, fungos e actinomicetos (KIEHL, 2004).

As espécies dos microrganismos presentes no composto determinam a velocidade do processo de compostagem e as modificações químicas e físicas do material (MONDINI, 2004).

No início da decomposição dos resíduos orgânicos, na fase mesofílica, predominam bactérias, que são responsáveis pela quebra inicial da matéria orgânica, promovendo a liberação de calor na leira (PEREIRA NETO, 2007).

Com o aumento da temperatura há multiplicação dos actinomicetos e os microrganismos termófilos, que são responsáveis pela decomposição da celulose, hemicelulose, quitina e proteínas, podendo atacar madeira, cascas e papel (MASSUKADO, 2008).

#### 3.2.1.5 Aeração

Como a compostagem é um processo aeróbio, o fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios necessitam de oxigênio para oxidar a matéria orgânica (FERNANDES e SILVA, 1999; BARREIRA, 2005).

A introdução de ar pelo revolvimento é o principal mecanismo capaz de evitar altas temperaturas durante o processo de compostagem, de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em decomposição (PEREIRA NETO, 1994; KIEHL, 2004).

Segundo Fernandes e Silva (1999) o lodo, em geral, é um resíduo de granulometria fina e aspecto pastoso, o que dificulta a difusão do ar. Por esta razão, o lodo normalmente deverá ser misturado a outro resíduo, com granulometria mais grosseira, capaz de atuar como agente estruturante na mistura, permitindo assim a formação dos espaços vazios necessários à difusão do ar.

#### 3.2.1.6 Umidade

A umidade deve ser controlada, pois a estrutura dos microrganismos que atuam no processo é formada por aproximadamente 90% de água. Feito o controle adequado da umidade e da aeração esses microrganismos se proliferam rápida e homogeneamente em toda a massa (KIEHL, 1985).

Tiquia et al. (1998), Fernandes e Silva (1999) e Rodrigues et al. (2006) sugerem que a umidade ideal deve estar situada entre 50 e 60%. Já Kiehl (2004) afirma que uma faixa mais ampla de 40 a 70% também pode ser considerada uma umidade ótima.

Valores acima de 70% tendem a favorecer a anaerobiose e a liberação de chorume nas leiras (BARREIRA, 2005). Já quando a umidade é inferior a 40% pode ocorrer redução na atividade biológica, retardando o desenvolvimento do processo (MASSUKADO, 2008).

O lodo proveniente de estação de tratamento de efluentes de qualquer indústria deve passar previamente por processo de desaguamento ou desidratação para eliminar o excesso de água (FERNANDES e SILVA, 1999).

#### 3.2.1.7 Granulometria

A granulometria, ou dimensão das partículas, é uma importante característica a ser considerada, pois afeta o processo de compostagem, devido à interferência no

balanço entre o conteúdo de água e ar. Segundo Fernandes e Silva (1999) para uma condição ótima de compostagem, a mistura deve apresentar de 30 a 36% de porosidade.

A decomposição da matéria orgânica é um processo microbiológico, cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos (KIEHL, 2004; VALENTE et al., 2009). Porém, partículas muito pequenas podem favorecer a compactação e dificultar a aeração, devido à reduzida porosidade estabelecida, causando anaerobiose (INÁCIO; MILLER, 2009).

### 3.3 COMPOSTAGEM DE LODO DE CURTUME

O lodo de curtume é geralmente rico em matéria orgânica e nitrogênio (CASTILHOS et al., 2002). No processo de compostagem esse resíduo deve ser misturado a outra substância rica em carbono, equilibrando a relação C/N, parâmetro fundamental para avaliação do processo (SANTOS, 2010).

Ramos et al. (2004) utilizaram esterco bovino e palha de trigo para compostar o lodo de curtume obtido sem segregação dos efluentes na indústria, com objetivo de avaliar a redução de patógenos e compostos orgânicos tóxicos, e concluíram que a compostagem foi eficiente nesse sentido, pois atingiu temperatura suficiente para reduzir os patógenos, não sendo encontrados coliformes termotolerantes, *Salmonella* sp. e ovos de helmintos. As concentrações de metais pesados no composto estavam bem abaixo dos limites superiores para os biossólidos, de acordo com limites da USEPA.

Haroun et al. (2007a) compostaram lodo de ribeira com maravalha, dejetos de frango e farelo de arroz com intuito de determinar algumas das propriedades físico-químicas do lodo de curtume e avaliar a maturação do composto. Os autores concluíram que o processo de compostagem produziu um composto estável e maturado e que as concentrações dos metais pesados no composto cumpriram os limites Canadenses (CCME 1995), tornando o composto adequado para uso como fertilizante e condicionador do solo.

Ahmed et al. (2007) em estudo sobre a compostagem de lodo de curtume com serragem, farelo de arroz e cama de aviário, encontraram ao final do processo valores de pH dentro da faixa de desenvolvimento das bactérias e fungos, num

intervalo de 6,6 e 7,5. A temperatura máxima registrada foi de 64°C, e a relação C/N teve variação de 24,5/1 a 15,7/1 no início e no final do processo, respectivamente. A concentração de metais pesados no composto era baixa, tornando-o aceitável para o uso agrícola. Foi observado neste trabalho também a redução de microrganismos patógenos.

São vantagens da compostagem do lodo de curtume: a economia de áreas em aterros industriais, levando ao aumento de vida útil do mesmo, reaproveitamento agrícola da matéria orgânica e reciclagem de nutrientes para o solo (SANTOS, 2010).

Diversos estudos estão relacionados à aplicação do lodo de curtume na agricultura, geralmente com foco na preocupação quanto à presença de cromo no resíduo (GONÇALVES et al., 2014; ARAÚJO, 2011). Porém, pouco se investiga sobre o tratamento do lodo de ribeira via compostagem, não sendo encontradas pesquisas com este objeto de estudo.

### 3.3.1 Uso do lodo de curtume compostado na agricultura

A utilização do lodo de curtume compostado na agricultura é uma alternativa viável, uma vez que apresenta um alto teor de matéria orgânica, macro e micronutrientes e menores quantidades de elementos tóxicos quando comparado ao lodo in natura (ARAÚJO et al., 2007). O composto proveniente do lodo de curtume pode promover melhorias na qualidade do solo e na produtividade das plantas (SILVA et al., 2013; SILVA et al., 2011; SANTOS, 2010).

Araújo (2011) avaliou a disponibilidade de fósforo, correção do solo e nutrição do milho em aplicação de lodo de curtume compostado associado ao fosfato natural em comparação com adubação com fosfato solúvel. E afirma que a presença do lodo compostado elevou os teores de fósforo no solo e nas folhas de milho, bem como proporcionou maior produtividade da cultura, com rendimento de 3661 kg ha<sup>-1</sup> quando o composto estava incorporado no solo, contra 2946 kg ha<sup>-1</sup> da testemunha.

Gonçalves et al. (2014) em estudo sobre os efeitos do lodo de curtume compostado sobre a biomassa microbiana do solo, concluíram que a aplicação de até 10 ton ha<sup>-1</sup> de lodo de curtume compostado (LCC) aumenta a biomassa microbiana, os teores orgânicos de carbono e cromo no solo. O teor de cromo presente no solo após a aplicação do lodo de curtume compostado (LCC) não tem

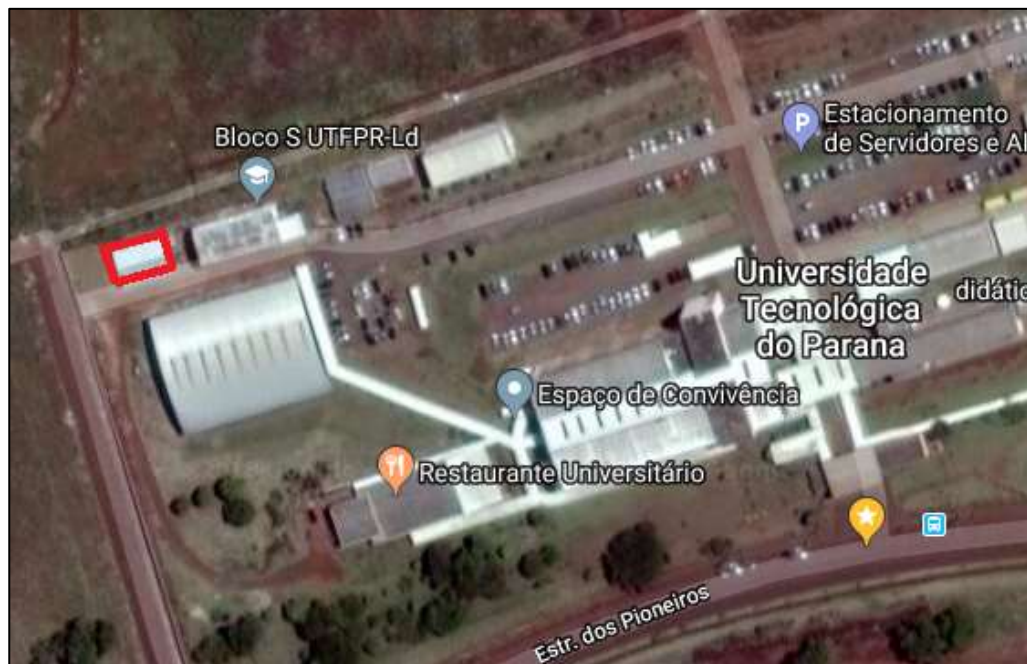
potencial tóxico, pois se encontra na forma trivalente, que segundo o autor, é estável e com baixa solubilidade e mobilidade.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido no Bloco P da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina ( $23^{\circ}18'25,8''$  S de latitude,  $51^{\circ}06'58,5''$  W de longitude e altitude média de 550 metros) conforme a Figura 5.

**Figura 5** – Local onde foi realizado o experimento (UTFPR-Londrina).



Fonte: Google Maps, 2018.

### 4.2 RESÍDUOS

Os resíduos que foram compostados são: lodo de ribeira, poda de árvore triturada, maravalha e cinza de caldeira. Estes foram fornecidos pela empresa Vancouros Indústria e Comércio de Couros Ltda, de Rolândia-PR. Apenas o lodo da ribeira e as cinzas de caldeira eram gerados na indústria. A poda de árvore foi fornecida pela prefeitura de Rolândia-PR, proveniente da manutenção das árvores da cidade. A maravalha foi adquirida em uma marcenaria na mesma cidade.

### 4.3 MONTAGEM DAS LEIRAS

As leiras foram montadas seguindo a metodologia proposta por Kiehl (2008). Os resíduos foram analisados em laboratório, com a finalidade de obter os valores de nitrogênio, carbono, umidade e densidade (Tabela 3).

**Tabela 3** - Caracterização inicial dos resíduos.

Resíduos	Carbono (%)	Nitrogênio (%)	Umidade (%)	Densidade (Kg L <sup>-1</sup> )
Maravalha	50,19	0,08	5,43	0,04
Cinzas	0,02	0,06	0,20	0,59
Lodo ribeira	10,53	1,76	11,63	1,01
Poda de árvore	30,52	1,02	10,40	0,13

Fonte: autoria própria.

Com os valores da Tabela 3 foram realizados os cálculos que fornecem o volume de cada resíduo utilizado na montagem das leiras. O primeiro passo foi aplicar os valores de C e N dos resíduos na equação 1, proposta por Kiehl (2008):

$$\frac{(30 \cdot N_m) - (C_m)}{(C_c) - (30 \cdot N_c)} \quad (1)$$

Onde:

N<sub>m</sub>: % de N do resíduo rico em N;

C<sub>m</sub>: % de C do resíduo rico em N;

C<sub>c</sub>: % de C do resíduo rico em C;

N<sub>c</sub>: % de N do resíduo rico em C.

A equação 1 tem como princípio indicar a quantidade, em massa, do resíduo fonte de carbono para cada kg de material nitrogenado, para relação C/N inicial igual a 30. Porém, aplicando os valores apresentados na Tabela 3 na equação 1, chegou-se a uma proporção, em volume, muito alta de material fonte de carbono para pouco material nitrogenado. Portanto, foi calculado novamente para relações C/N inicial mais baixas, visando aumentar a quantidade do material nitrogenado (lodo) na composição, pois este é o maior desafio da empresa em termos de gerenciamento do resíduo com maior potencial poluidor.



Após algumas tentativas, chegou-se aos valores de relação C/N inicial ideal: 12/1 e 16/1, pois resultam em relação de volume de aproximadamente 3 partes de material carbonáceo para 1 nitrogenado, e 6 partes de material carbonáceo para 1 nitrogenado, respectivamente, que seriam proporções viáveis para execução em larga escala.

Portanto, utilizou-se as equações 2 e 3:

$$\frac{(12*Nm)-(Cm)}{(Cc)-(10*Nc)} \quad (2)$$

$$\frac{(16*Nm)-(Cm)}{(Cc)-(14*Nc)} \quad (3)$$

O próximo passo foi realizar a correção da umidade, para se obter a quantidade de cada resíduo em massa úmida. Para essa etapa utilizou-se a equação 4.

$$MU = \frac{(MS*100)}{(100-U)} \quad (4)$$

Onde:

MU: Massa úmida final;

MS: Massa seca, encontrada nas equações 2 e 3;

U: Umidade de cada resíduo.

Para finalizar os cálculos encontrou-se o volume de cada resíduo, por meio da equação 5, de modo a facilitar a montagem das leiras.

$$Vf = \frac{MU}{\rho} \quad (5)$$

Onde:

Vf: Volume final de cada resíduo;

MU: Massa úmida final, encontrada na equação 4;

$\rho$ : Densidade de cada resíduo.

#### 4.4 COMPOSIÇÃO E DIMENSIONAMENTO DAS LEIRAS

Foram montadas 16 leiras, conforme a composição apresentada na Tabela 4. Ressalta-se que a cinza foi apenas acrescentada intercalando-se com as camadas de resíduos, aos tratamentos T2, T4, T6 e T8, num total de 30 litros por tratamento, não sendo considerada nos cálculos do item 4.3.

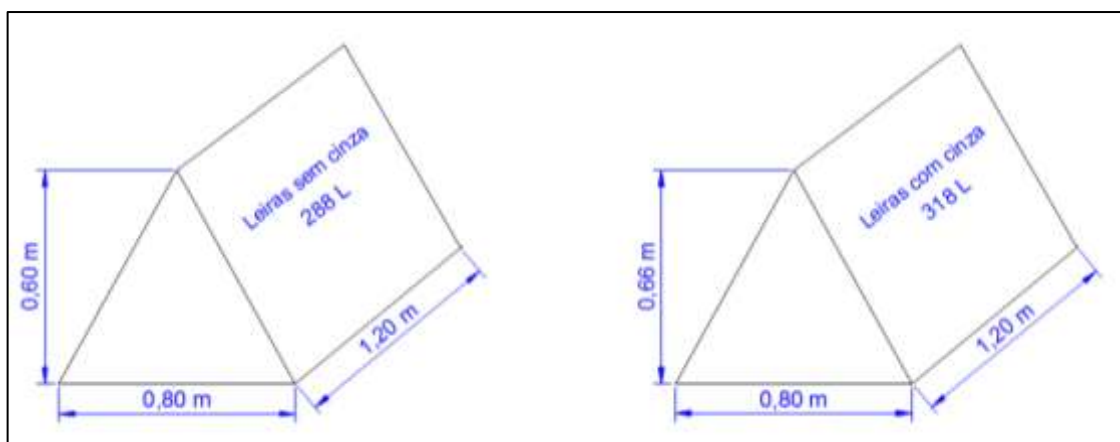
**Tabela 4** - Composição volumétrica das leiras, em litros.

Tratamento	C/N Inicial	Composição (L)				Volume total
		Lodo	Poda	Maravalha	Cinza	
T1	12/1	76	212	-	-	288
T2	12/1	76	212	-	30	318
T3	12/1	70	-	218	-	288
T4	12/1	70	-	218	30	318
T5	16/1	40	248	-	-	288
T6	16/1	40	248	-	30	318
T7	16/1	46	-	242	-	288
T8	16/1	46	-	242	30	318

Fonte: autoria própria.

As leiras foram montadas em duplicata, conforme as dimensões propostas e ilustradas na Figura 6. As dimensões foram escolhidas em função do barracão onde as leiras foram montadas, com intuito de haver espaço suficiente para revolvimento e manejo.

**Figura 6** – Dimensões das leiras de compostagem.



Fonte: autoria própria.

#### 4.5 MONITORAMENTO DO PROCESSO: ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

O monitoramento do processo foi realizado de acordo com os parâmetros e suas respectivas frequências apresentados no Quadro 4.

**Quadro 4** – Frequência das análises e monitoramento.

Análise	Frequência
Temperatura	10 minutos
Aeração e Umidificação	A cada 3 dias
pH	Quinzenal
Condutividade Elétrica	Quinzenal
Umidade	Quinzenal
Carbono Orgânico Total	Quinzenal
Nitrogênio Total	Quinzenal
Fósforo e Potássio	Final
Redução de massa	Final
Redução de volume	Final
Aspecto e descaracterização	Final

Fonte: autoria própria.

Para as análises quinzenais, a amostragem do composto foi realizada em três pontos de cada leira, misturados em um saco plástico. Em seguida, levou-se as amostras ao Laboratório de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

#### 4.5.1 Temperatura

As temperaturas das leiras foram obtidas a cada 10 minutos, por meio de dois sensores de modelo DS18B20 (Figura 7) por leira, ligados a um sistema (*data logger*) na plataforma Arduino (Figura 8).

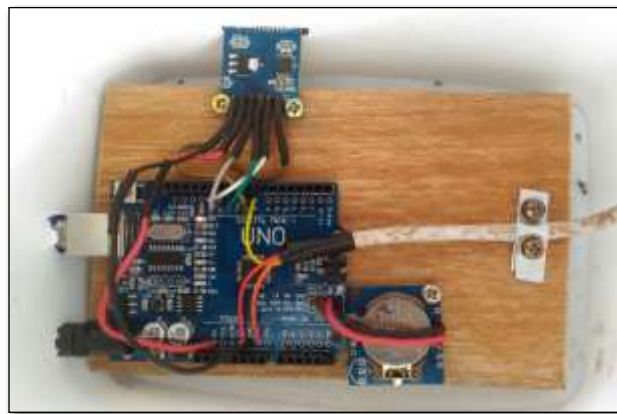
**Figura 7** – Modelo de sensor utilizado para coleta de dados de temperatura.



Fonte: Cerne, 2018.

Neste sistema, os dados foram armazenados em cartão SD. Houve acompanhamento diário da temperatura para verificação da necessidade de controle da mesma com o revolvimento, além da identificação da maturação do composto. Determinou-se também a temperatura ambiente com quatro sensores que foram deixados expostos ao ambiente, sem contato com as leiras, com frequência de 10 minutos.

**Figura 8** – Hardware da plataforma Arduino utilizado para automatização da coleta de dados de temperatura.



Fonte: autoria própria.

#### 4.5.2 pH e Condutividade Elétrica

O monitoramento do pH e da C.E. foi realizado de acordo com o procedimento descrito por Tedesco et al. (1995), e ocorreu da seguinte forma:

aproximadamente 10 gramas da amostra era colocada em um béquer, no qual se acrescia 100 mL de água deionizada com o auxílio de uma proveta. O béquer era agitado em um shaker por 30 minutos, e em seguida deixado em repouso por uma hora. Por fim, pH e condutividade elétrica eram medidos no sobrenadante utilizando um pHmetro e um condutivímetro devidamente calibrados.

#### 4.5.3 Umidade, Série de Sólidos e Carbono orgânico e total

A análise de umidade e série de sólidos era realizada seguindo o procedimento descrito pela American Public Health Association – APHA (2012), e o teor de carbono orgânico e total estão foram obtidos adaptando-se a metodologia proposta por Carmo e Silva (2012).

A metodologia seguia os seguintes passos: os cadinhos eram calcinados em mufla a 580 °C, por meia hora, em seguida são pesados vazios em balança analítica e a massa (M0) anotada. Ainda com o cadinho sobre a balança, esta é tarada e são acrescentados 5 gramas do resíduo, anotando a massa (M1). Os cadinhos são deixados na estufa a 105 °C por 24 horas. Após esse período os cadinhos são levados ao dessecador, e ao atingir a temperatura ambiente faz-se a pesagem da massa M2. Os cálculos dos sólidos totais e da umidade são feitos utilizando as equações (6) e (7), respectivamente.

$$U (\%) = \frac{[(P1-P0)-(P2-P0)]}{(P1-P0)} \times 100 \quad (6)$$

$$ST (\%) = \frac{(P2-P0)}{(P1-P0)} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

U (%): umidade, em porcentagem;

ST (%): sólidos totais, em porcentagem;

P0: massa do cadinho calcinado, em gramas;

P1: massa úmida da amostra + massa do cadinho, em gramas;

P2: massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas.

Os cadinhos com amostra seca são colocados em forno tipo mufla e mantidos à temperatura de 580°C, por duas horas. Assim, é obtida a massa de cinzas (P3). Portanto, calcula-se os sólidos voláteis e fixos a partir das equações 8 e 9:

$$SV(\%) = \frac{[(P2-P0)-(P3-P0)]}{(P2-P0)} \times 100 \quad (8)$$

$$SF(\%) = ST(\%) - SV(\%) \quad (9)$$

Onde:

SV (%): sólidos voláteis, em porcentagem;

ST (%): sólidos totais, em porcentagem;

SF (%): sólidos fixos, em porcentagem;

P0: massa do cadinho calcinado, em gramas;

P2: massa seca da amostra + massa do cadinho, em gramas;

P3: massa da amostra calcinada + massa do cadinho, em gramas.

O teor de carbono orgânico (CO) e carbono total (CT) foram calculados utilizando-se os valores de sólidos voláteis (SV), pois este apresenta uma estimativa da matéria orgânica biodegradável no resíduo (PEREIRA; FIALHO, 2013). As equações para cálculo de CO e CT, propostas por Carmo e Silva (2012) eram:

$$CT(\%) = (0,463 \times SV) - 0,550 \quad (10)$$

$$CO(\%) = (0,425 \times SV) - 2,064 \quad (11)$$

#### 4.5.4 Nitrogênio Total

O nitrogênio total foi obtido conforme a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997), constituída por uma digestão sulfúrica em bloco digestor.

A amostra é levada à estufa de 50°C por 2 dias. Após esse período a mesma é macerada e são colocados 0,2 g em tubos de ensaio e 5 gramas em placas de Petri para obtenção da umidade em estufa de 105°C. Acrescenta-se 1 mL de peróxido de hidrogênio, 2mL de ácido sulfúrico e 0,7g de mistura digestora nos tubos contendo 0,2 g de resíduo macerado. Os tubos são colocados no bloco digestor,

ligado inicialmente a 50 °C. A temperatura deve ser elevada 50 °C a cada meia hora, até atingir 350 °C, permanecendo por uma hora.

Após o esfriamento dos tubos acrescenta-se 10 mL de água destilada em cada tubo e as amostras são destiladas utilizando um destilador Kjeldahl. A solução destilada é então titulada com ácido sulfúrico 0,0025 mol.L<sup>-1</sup>, utilizando ácido bórico como indicador. O nitrogênio total é então calculado a partir da Equação 12:

$$N (\%) = \frac{(V_{\text{amostra}} - V_{\text{branco}}) \times 0,7 \times (M)}{10} \quad (12)$$

Onde:

N: teor de nitrogênio total, em porcentagem;

Vamostra: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gasto na titulação da amostra, em mL;

Vbranco: volume de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> gasto na titulação do branco, em mL;

M: massa da amostra macerada colocada no tubo descontada a umidade, em gramas.

#### 4.5.5 Fósforo e Potássio

Foi realizada a análise do composto final para os macronutrientes fósforo total e potássio solúvel, em laboratório especializado, seguindo as metodologias propostas no “Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos” (MAPA, 2017). Para o fósforo total realizou-se uma abertura na amostra com ácidos em chapa de aquecimento e a determinação foi feita por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente. Já para potássio solúvel foi realizada uma extração a quente com água e a determinação foi feita por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente.

#### 4.5.6 Redução de massa e volume e monitoramento da descaracterização do material

A redução de massa e volume foi obtida no final do processo, utilizando uma balança da marca Balmak (modelo ELPN – 25kg) e um balde graduado de 12 Litros.

O volume e a massa inicial foram anotados, como também foi feita a medição ao final do processo. A redução desses parâmetros foi obtida aplicando-se as

Equações 13 e 14. Para o cálculo da redução de massa foi considerada a massa seca das leiras.

$$RV (\%) = \frac{V_i - V_f}{V_i} * 100 \quad (13)$$

$$RM (\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (14)$$

Onde:

RV: Redução do volume (%)

Vi: Volume inicial (L)

Vf: Volume final (L)

RM: Redução da massa (%)

Mi: Massa inicial (kg)

Mf: Massa final (kg)

O monitoramento da descaracterização do material foi realizado visualmente ao longo do processo, para avaliação de seu aspecto e identificação do grau de decomposição, e conseqüentemente a identificação da estabilização do composto. Ao final do processo foi realizado o registro fotográfico de cada leira.

#### 4.5.7 Análise dos dados

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com duas repetições. Cada parcela experimental foi constituída de uma leira. Ao final do processo de compostagem foram realizadas análises estatísticas para comparar os resultados obtidos e verificar a diferença ou semelhança estatística entre eles. O SISVAR foi utilizado para a realização da análise de variância (ANOVA) e o Teste de Scott-Knott (5% de significância) para comparação de médias.

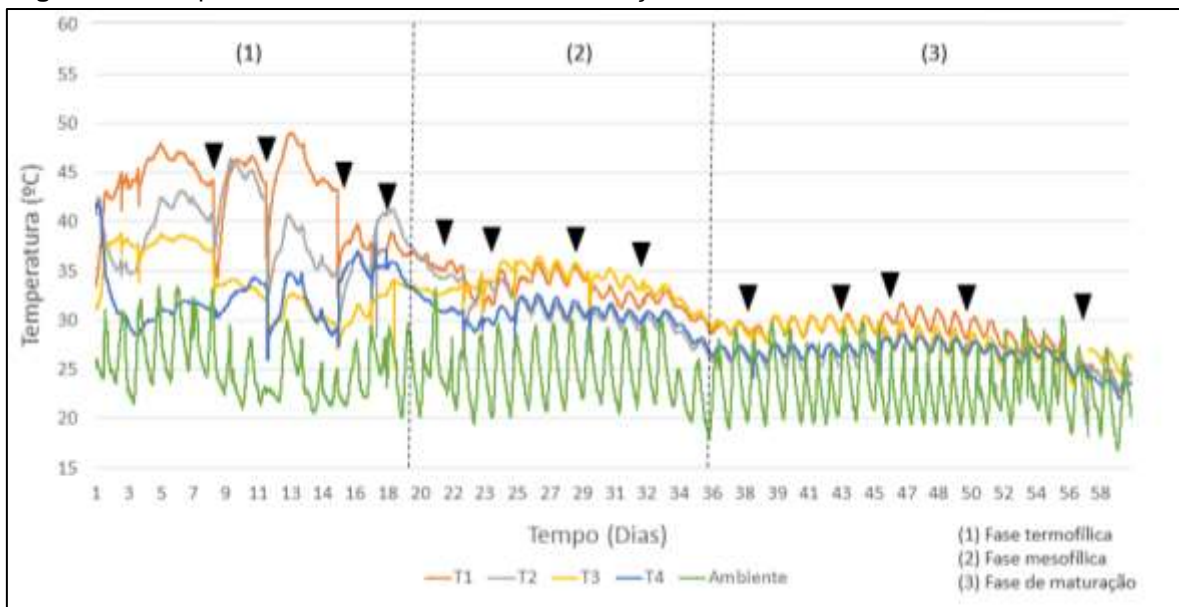


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 TEMPERATURA

A temperatura é um indicador da degradação dos resíduos na compostagem, pois essa técnica é caracterizada por ser um processo exotérmico, sendo que, quanto maior a temperatura mais intensa é a atividade microbiana (FIALHO, 2007). Na Figura 9 são apresentados os perfis de temperatura médios dos tratamentos T1, T2, T3, T4 e ambiente. As fases da compostagem estão representadas pelas repartições verticais feitas no gráfico e as setas indicam os dias de revolvimento das leiras e controle da umidade.

**Figura 9** – Temperaturas médias das leiras com relação C/N inicial de 12:1



**Fonte:** autoria própria.

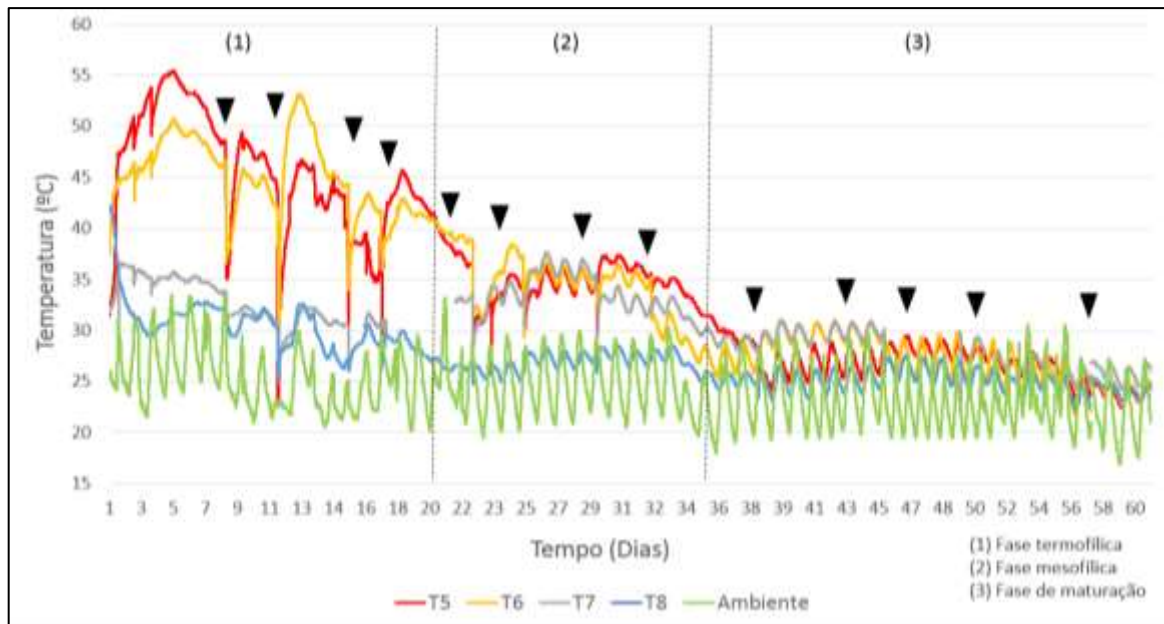
Nota: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12).

O período médio de duração da fase termofílica foi de 19 dias, semelhante ao encontrado por Shukla et al. (2009) em estudo sobre interação de comunidades microbianas na transformação e estabilização do cromo durante a compostagem de lodo de curtume, cuja duração desta fase foi de 21 dias. Haroun et al. (2007b) observaram que a duração da fase termofílica foi de 29 dias em compostagem de lodo de curtume com serragem, dejetos de frango, melão e farelo de arroz.

Nota-se também que a fase mesofílica teve duração média de aproximadamente 17 dias. Após esse período o composto já se encontrava em maturação.

De acordo com o gráfico representado na Figura 10 é possível observar os perfis médios de temperatura para os tratamentos com C/N inicial 16/1.

**Figura 10** – Temperaturas médias das leiras com C/N inicial de 16:1



Fonte: autoria própria.

Nota: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

A duração das fases da compostagem para as leiras com relação C/N inicial 16:1 foi semelhante às leiras com relação C/N inicial 12:1, considerando as temperaturas médias.

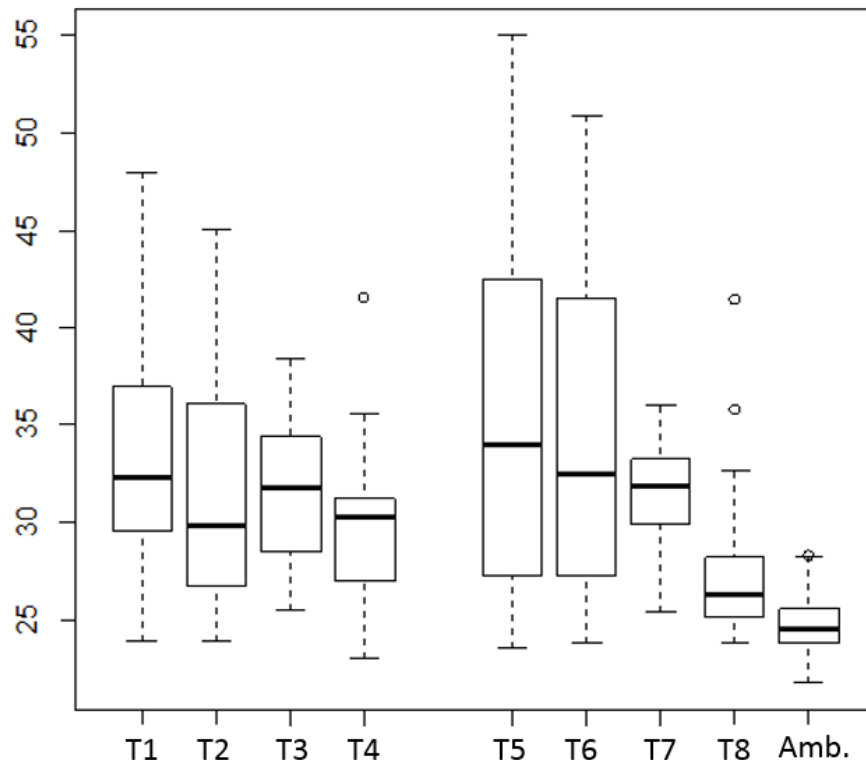
Pode-se observar, após comparação das Figuras 10 e 11, que os tratamentos T4 e T8 tiveram comportamento semelhante, havendo um decaimento no início e permanecendo em temperaturas entre 30 e 35 °C o resto do período de compostagem. Ambos possuíam a mesma composição (lodo + maravalha + cinza), apenas em proporções diferentes.

O perfil de temperatura dos tratamentos T1, T2, T5 e T6 - todos com poda de árvore como fonte de carbono - também foi semelhante, com as fases da compostagem bem definidas.

O revolvimento e a umidificação favorecem, respectivamente, a introdução de oxigênio e o controle da umidade das leiras, proporcionando um ambiente com melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos, ocorrendo um aumento na atividade microbiana e conseqüentemente o aumento da temperatura. Observa-se que, em alguns casos, no dia após o revolvimento, como é o caso do dia 9 nas Figuras 9 e 10, a temperatura é significativamente elevada, assim como encontrado por Presumido et al. (2017).

Na Figura 11 estão apresentados os valores da temperatura média de todos tratamentos expressos em um box plot.

**Figura 11** – Box plot da temperatura média.



Fonte: autoria própria.

Nota: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

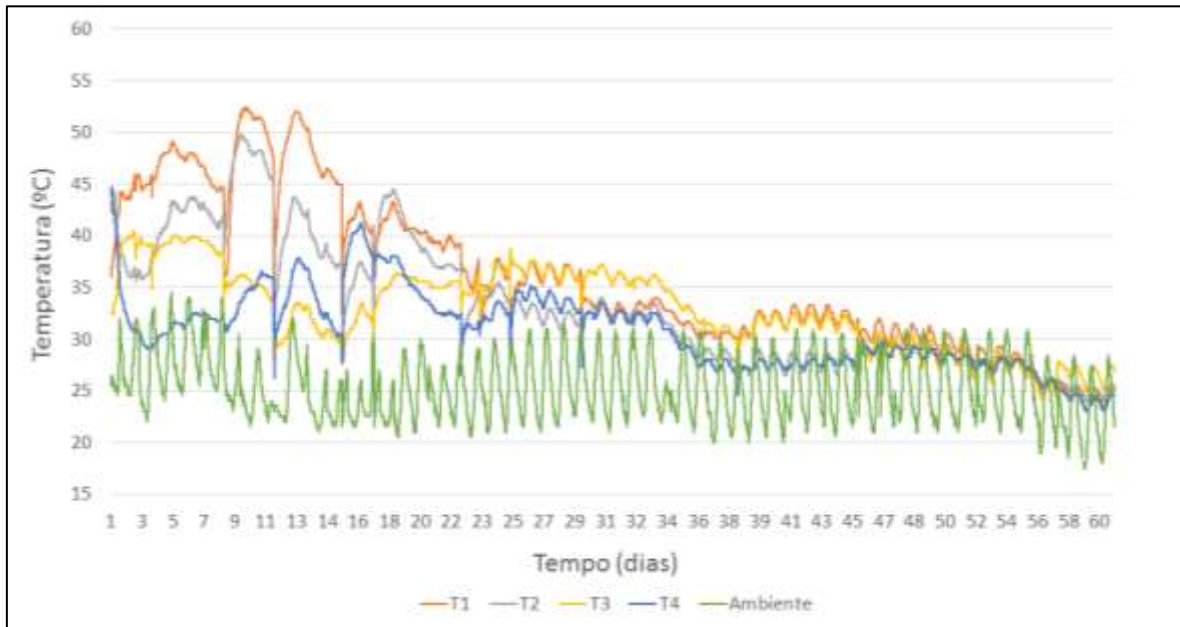
Nota-se no box plot da temperatura média (Figura 11) que os tratamentos T1, T2, T5 e T6, ambos com poda como fonte de carbono, tiveram valores concentrados em temperaturas mais elevadas que os demais.

Com relação aos Quartis 1 e 3, nota-se que T5 e T6 tinham 50% dos seus dados de temperaturas médias até 42°C, ou seja, existe uma certa frequência de temperaturas mais elevadas que os outros tratamentos, o que corrobora com a ideia de que houve uma tendência desses tratamentos permanecerem por mais tempo na fase termofílica.

No tratamento T8, como pode-se observar na Figura 11, os quartis e a mediana estão mais próximos do gráfico da temperatura ambiente. Logo, este tratamento foi o menos eficiente considerando apenas a temperatura como parâmetro.

Os perfis de temperaturas máximas dos tratamentos T1, T2, T3 e T4 (leiras com C/N inicial 12) durante o período de compostagem estão apresentados na Figura 12.

**Figura 12** – Temperaturas máximas das leiras com relação C/N inicial de 12:1



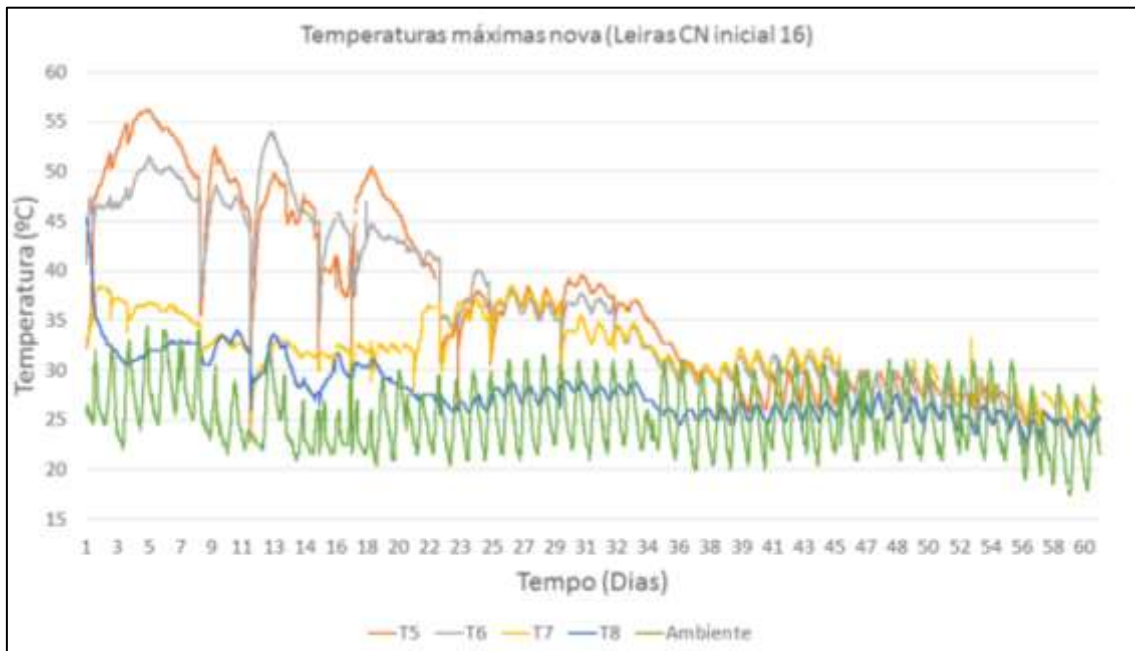
Fonte: autoria própria.

Nota: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12).

O aumento da temperatura durante o processo de compostagem é consequência do metabolismo de decomposição microbiana. Segundo Fernandes e Silva (1999) a população termófila é extremamente ativa, provocando intensa e rápida degradação da matéria orgânica e maior elevação da temperatura, o que elimina os microrganismos patogênicos. Observa-se que apenas os tratamentos T1 e T2 chegaram à fase termofílica ainda na primeira semana. Considerando as temperaturas máximas, para estes tratamentos, a fase termofílica teve duração de aproximadamente 25 dias. Já para os tratamentos que receberam maravalha, a fase termofílica foi menos intensa e teve duração menor.

Os tratamentos com C/N inicial 16/1 tem seus perfis de temperatura máxima ilustrados na Figura 13. Pode-se observar que para T5 e T6, considerando as temperaturas máximas, a fase termofílica teve duração de aproximadamente 32 dias, com medidas acima de 53°C.

**Figura 13** – Temperaturas máximas das leiras com relação C/N inicial de 16:1



Fonte: autoria própria.

Nota: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

A partir da Tabela 5 pode-se verificar as temperaturas máximas atingidas para cada tratamento e seus respectivos dias. Os tratamentos que atingiram temperaturas mais elevadas foram T1, T2, T5 e T6, com valores próximos do encontrado por Haroun et al. (2007a), em estudo sobre compostagem de lodo de curtume com maravalha, esterco de galinha, melaço e farelo de arroz, que relataram alcançar 64°C. Porém, abaixo dos 72°C relatado por Akinci et al. (2013), em tratamento por compostagem do lodo de curtume com aparas de couro vegetal e folhas de tabaco.

Hassen et al. (2001) afirmam que quando há necessidade de eliminação de patógenos na compostagem devido à utilização de materiais com potencial de contaminação, a presença de temperaturas elevadas é fundamental, e para máxima sanitização são necessárias temperaturas acima de 55°C, como é o caso do tratamento T5.

**Tabela 5** – Temperaturas máximas atingidas e seus respectivos dias para cada tratamento.

Tratamentos	Temperatura Máxima (°C)	Dia de máxima temperatura	Tempo de permanência na temperatura máxima (minutos)
T1	52,2	11	390
T2	49,5	18	230
T3	40,5	3	190
T4	44,7	16	40
T5	56,2	5	1300
T6	53,0	12	230
T7	38,5	23	400
T8	45,2	1	20

Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Para efetividade da sanitização, outro aspecto importante a se considerar é o tempo de exposição dos patógenos a elevadas temperaturas. Alguns exemplos de microrganismos, seus respectivos tempos de exposição e valores de temperatura podem ser observados na Tabela 6.

**Tabela 6** – Tempo e temperaturas exigidas para possível sanitização do composto.

	Tipo de organismo	Tempo mínimo de exposição (minutos)	Temperatura (°C)
Bactérias	<i>Salmonella</i>	20-30	55-60
	<i>E. coli</i>	15-20	60
Helmintos	<i>Teania saginata</i>	Alguns minutos	55
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	50-60	>50

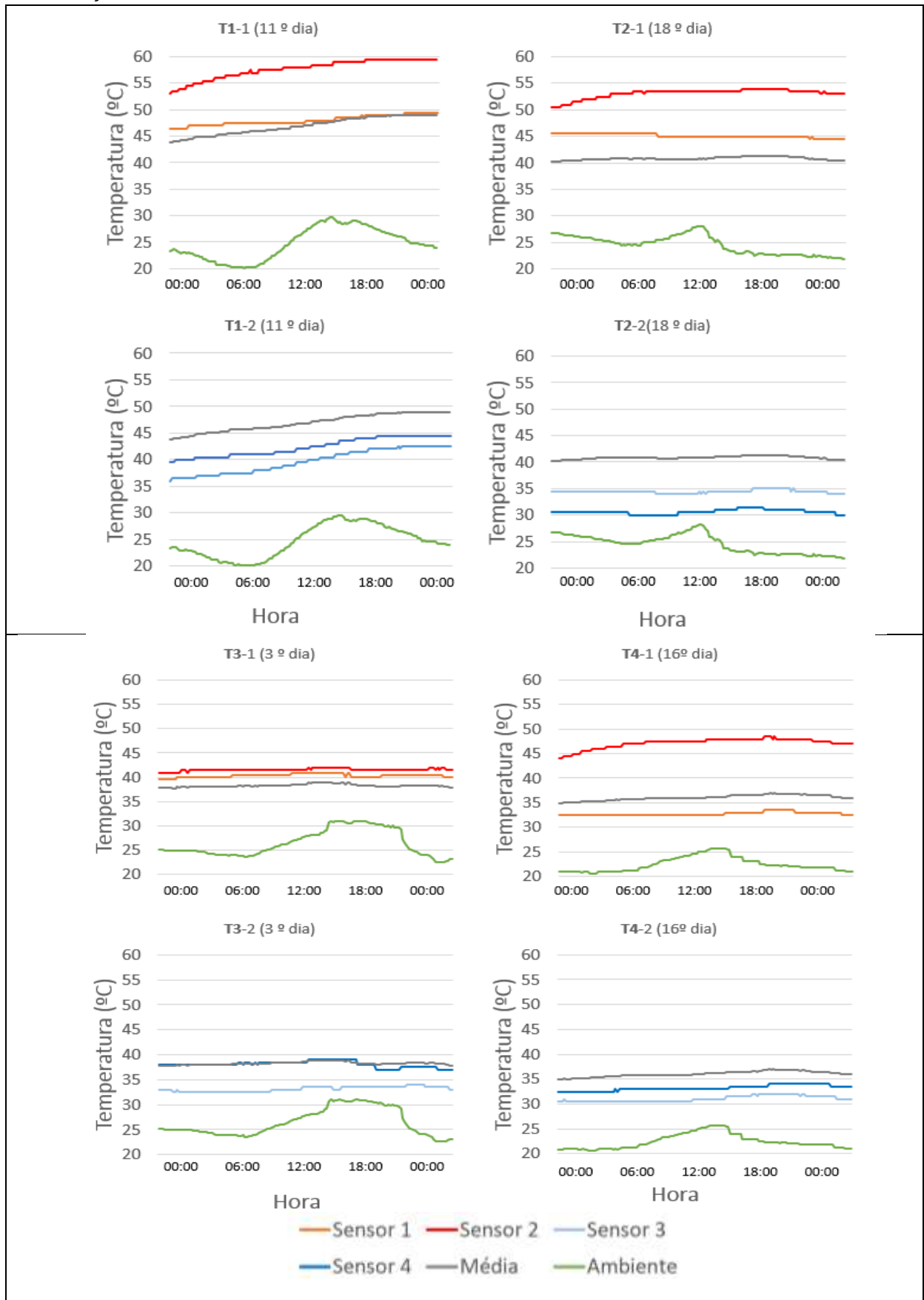
Fonte: Embrapa (2018)

A partir do comportamento diário do tratamento T5, que ultrapassou 55°C observa-se, na Tabela 5, que a temperatura máxima se manteve por mais de 60 minutos que é o maior período exigido, conforme a Tabela 6. Porém, nenhum tratamento atingiu 60°C, o que não garante a eliminação de *E. coli*, caso esse microrganismo patógeno estivesse presente nos resíduos.

O monitoramento diário da temperatura é importante, devido à necessidade de tomar decisões como realizar o revolvimento e a umidificação. Geralmente as pesquisas sobre compostagem são realizadas com coleta de dados manual, por meio de termômetros digitais ou de mercúrio, o que dificulta o monitoramento e consequentemente sendo este realizado com pouca frequência, em muitos casos,

apenas uma vez a dia. A partir das Figuras 14 e 15 observa-se a temperatura de cada sensor no dia de maior temperatura para cada leira, com intervalo de coleta de dados reduzida, com maior detalhe do comportamento diário deste parâmetro.

**Figura 14** – Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura, para os tratamentos com relação C/N inicial de 12:1.

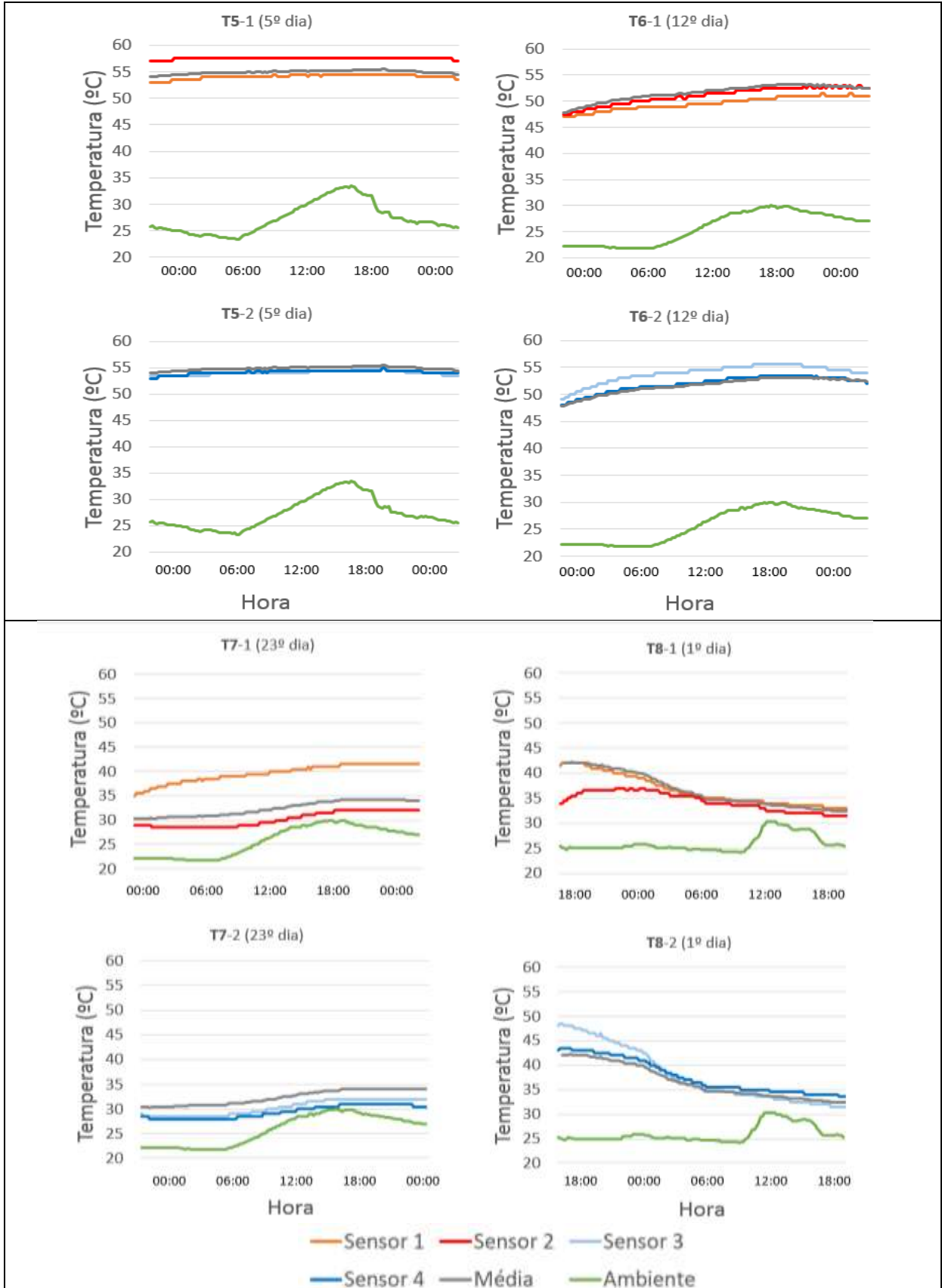


Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16).



**Figura 15** – Temperatura ao longo do dia, em cada leira, no dia de maior temperatura, para os tratamentos com relação C/N inicial de 16:1.



Fonte: autoria própria.

Nota 1: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

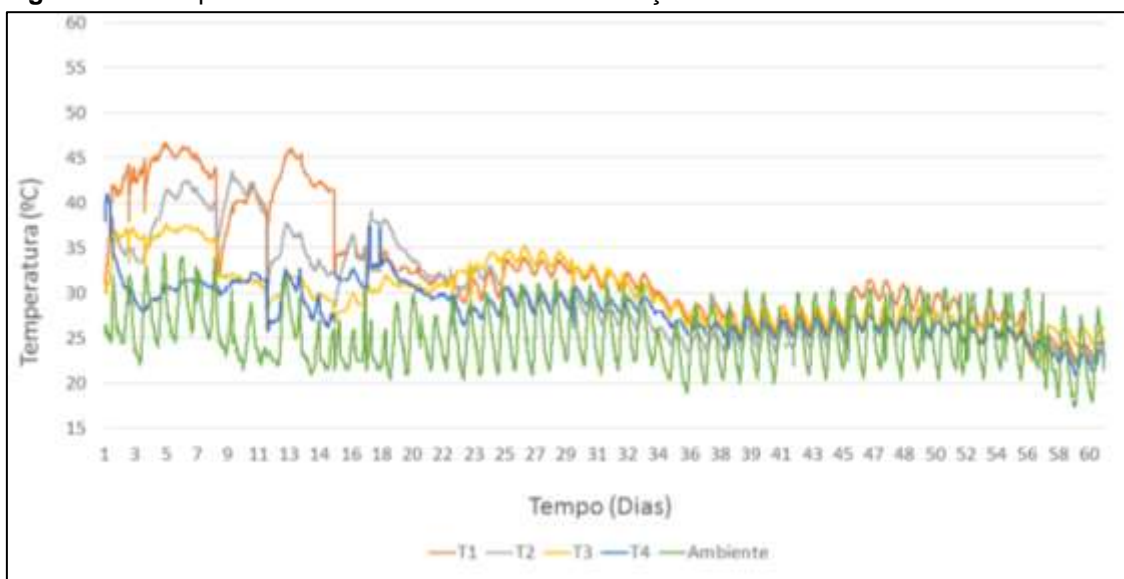
Quanto à variabilidade da temperatura, tomando-se como exemplo o Sensor 1 do tratamento T7 (Figura 15), a temperatura no início do dia (00hs) era 35°C e, em determinados horários, estava acima de 40°C. Portanto, observa-se, que a variação da temperatura pode ser superior a 5°C, dentro das 24h do dia, para o mesmo ponto da leira. Isso evidencia a necessidade da coleta de dados automatizada, para obtenção de dados de temperatura com menor intervalo de tempo e maior representatividade (MICHELS et al., 2017), auxiliando na tomada de decisões.

Neste sentido, Dal Bosco et al. (2018) afirmam, em trabalho sobre a frequência ideal da coleta de dados de temperatura em compostagem de resíduos orgânicos, que devido ao excesso de dados que podem ser obtidos quando utilizada uma frequência muito alta de coleta de dados, o pesquisador deve determinar o erro máximo permissível para cada caso, pois esse erro está diretamente ligado ao intervalo de coleta e ao tamanho da amostra.

Nota-se também que existe diferença de temperatura entre os sensores, fato que ocorre, pois, os sensores estão localizados em diferentes pontos nas leiras. Portanto, é recomendável que a coleta de dados seja feita em mais de um ponto, para uma maior representatividade da temperatura da leira.

Nas Figuras 16 e 17 pode-se observar o perfil de temperaturas mínimas obtidas ao longo do processo para os tratamentos com C/N inicial 12/1 e 16/1, respectivamente.

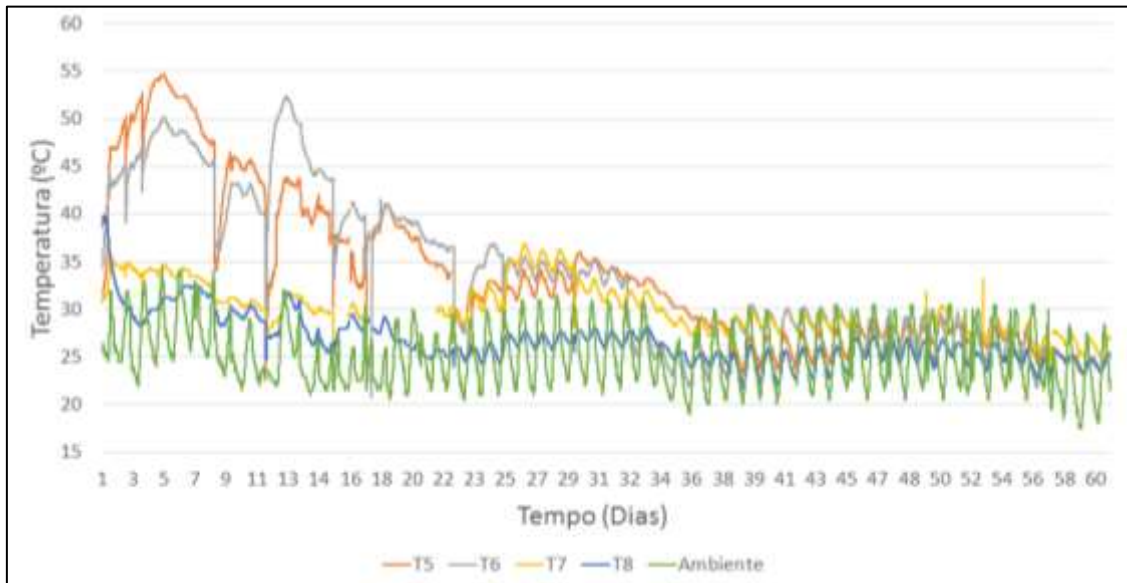
**Figura 16** –Temperaturas mínimas das leiras com relação C/N inicial de 12:1



Fonte: autoria própria.

Nota: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12)

**Figura 17** – Temperaturas mínimas das leiras com relação C/N inicial de 16:1



Fonte: autoria própria.

Nota: T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Nas Figuras 16 e 17, observa-se que a partir do 36<sup>o</sup> dia a temperatura mínima de todos os tratamentos se aproxima da temperatura ambiente, sendo esse, o período de maturação. Nessa fase a atividade microbiana é reduzida e conseqüentemente a taxa de degradação se torna muito baixa (TRAUTMANN et al., 2005).

Ao aproximar a temperatura do composto com a temperatura ambiente, acredita-se que o composto está curado. Porém, não pode ser utilizada como único parâmetro na verificação de maturidade do composto, devendo ser associados outros parâmetros (VALENTE et al., 2009).

Quando comparada a presença da cinza de caldeira no comportamento da temperatura, pode-se observar que há uma tendência de os tratamentos com cinza apresentarem valores inferiores, ou seja, há indícios de que a presença da cinza interfere negativamente no processo de compostagem, assim como observado por Souza et al. (2017) em estudo de compostagem de lodo de laticínio com poda de árvore, casca de café e cinza de caldeira. Silva (2007) em trabalho sobre compostagem de resíduos oriundos de uma cooperativa agroindustrial (resíduo do incubatório de ovos, conteúdo ruminal de bovinos, lodo do flotador e das lagoas anaeróbias do sistema de tratamento de efluentes e cinza de caldeira), afirma quanto à presença de cinza, que, provavelmente, os altos teores de cálcio e magnésio no resíduo, causaram uma alcalinização do meio, impedindo a

proliferação de alguns microrganismos que atuam na fase inicial da decomposição, em pH mais baixo.

## 5.2 CARBONO, NITROGÊNIO E RELAÇÃO C/N

Na Tabela 7 observa-se a porcentagem de carbono orgânico total presente no composto ao longo do período de compostagem. É notório que os valores estavam próximos de 20% quando mais próximo da montagem e houve uma diminuição em quase todos os tratamentos.

**Tabela 7** – Porcentagem de carbono orgânico total de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

Tratamento	15 DAM	30 DAM	45 DAM	60 DAM
<b>T1</b>	19,0 a	16,5 a	13,3 a	14,4 a
<b>T2</b>	19,5 a	16,3 a	11,8 a	10,9 a
<b>T3</b>	20,9 a	18,4 a	16,7 b	16,3 b
<b>T4</b>	15,9 a	14,9 a	15,6 b	11,4 a
<b>T5</b>	28,2 a	30,2 b	27,5 d	21,5 b
<b>T6</b>	20,9 a	23,1 b	15,2 b	14,9 a
<b>T7</b>	26,2 a	23,7 b	21,8 c	20,8 b
<b>T8</b>	15,8 a	17,1 a	12,9 a	11,5 a

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 2: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo mais poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Resultados da pesquisa de Karak et al. (2017) mostram que o carbono da mistura na fase inicial da compostagem era de 34,56% a 39,16%, e também houve redução à medida que a compostagem progredia, com valores entre 25,2% e 37,8% após 70 dias de compostagem. A redução do carbono pode ser resultado do consumo da matéria orgânica pelos microrganismos (VIG et al., 2011).

Na Tabela 8 são mostrados os valores da porcentagem de nitrogênio total de cada tratamento ao longo do período de compostagem, bem como sua análise estatística.

Não houve diferença estatística nos teores de nitrogênio ao longo do tempo, exceto para T4, em que se observou um aumento a partir de 30 DAM. O aumento está relacionado com a mineralização do nitrogênio, segundo Kiehl (1985), o que agrega ao composto final valor nutricional para aplicação no solo. Já a diminuição

está ligada à possibilidade de ocorrer a volatilização da amônia (MASSUKADO, 2008).

**Tabela 8** – Porcentagem de nitrogênio total de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

Tratamento	15 DAM	30 DAM	45 DAM	60 DAM
<b>T1</b>	1,97 Ac	1,98 Ac	1,71 Ab	1,56 Aa
<b>T2</b>	1,29 Ab	1,30 Ab	1,47 Ab	1,19 Aa
<b>T3</b>	1,22 Ab	1,24 Ab	1,40 Ab	1,36 Aa
<b>T4</b>	0,73 Aa	0,93 Ba	0,89 Ba	0,94 Ba
<b>T5</b>	2,22 Ac	2,24 Ac	1,75 Ab	1,98 Aa
<b>T6</b>	1,47 Ab	1,47 Ab	1,37 Ab	1,48 Aa
<b>T7</b>	1,18 Ab	1,34 Ab	1,31 Ab	1,35 Aa
<b>T8</b>	0,89 Aa	0,97 Aa	0,61 Aa	0,67 Aa

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 2: letras maiúsculas comparam o tempo de compostagem para cada tratamento (horizontal);

Nota 3: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Quando se trata da produção de fertilizantes orgânicos, a fase de maturação é fundamental, pois nela ocorre a mineralização do nitrogênio. O uso de um composto não maturado pode ocasionar poluição difusa com a liberação de amônia no solo e, possivelmente, inibir a germinação de sementes e o crescimento das plantas (PEREIRA NETO, 2007).

Portanto, a aplicação de um composto de qualidade na agricultura pode promover o aumento do N orgânico já estável e do carbono humificado, favoráveis ao desenvolvimento das plantas (AHMED et al., 2007).

Houve diferença estatística nos teores de nitrogênio aos 15, 30 e 45 DAM, quando comparados os tratamentos dentro de cada análise, com destaque para os tratamentos T1 e T4, com valores maiores. Já os tratamentos T4 e T8, ambos com maravalha como fonte de carbono e com cinzas, apresentaram valores menores. Aos 60 DAM, não houve diferença estatística entre os tratamentos, para tal parâmetro.

Na Tabela 9 é possível observar a relação C/N dos tratamentos ao longo da compostagem e a sua % de redução.

**Tabela 9** – Relação C/N de cada tratamento no início e final do processo de compostagem, bem como sua % de redução.

Tratamento	C/N inicial	C/N final	Redução da Relação C/N (%)
T1	11,1 a	9,4 a	15,31
T2	11,2 a	9,2 a	17,86
T3	12,3 a	12,0 b	2,44
T4	12,9 a	12,2 b	5,43
T5	18,8 c	10,9 a	42,02
T6	17,1 c	10,0 a	41,52
T7	15,7 b	15,4 b	1,91
T8	17,6 c	17,1 c	2,84

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos entre si em cada análise (vertical);

Nota 2: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

A relação C/N é um parâmetro de fundamental importância para a avaliação da maturação do composto. Para Kiehl (2004) o composto estabilizado deve apresentar C/N entre os valores 8/1 e 12/1. De acordo com a Tabela 8 observa-se que a relação C/N do composto final varia de 9,2 a 17,1. Os tratamentos que tinham poda de árvore em sua composição apresentaram os valores adequados para esse parâmetro, de acordo com os limites sugeridos por Kiehl (2004).

Nota-se também que há uma tendência de diminuição da relação C/N comparando-se o início e o final do processo. Os tratamentos com maior redução da relação C/N foram T5 e T6, com redução de 42,02% e 41,52%, respectivamente. Redução semelhante à encontrada por Karak et al. (2017), em estudo da compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano, que teve C/N inicial variando de 21,9 a 25,19 e final entre 13,6 e 18,6, com maior redução equivalente a 42,74%.

Haroun et al. (2007b) estudaram compostagem de lodo de curtume com maravalha, dejetos de frango, melaço e farelo de arroz e relataram que a relação C/N diminuiu de 25 para 17, em 50 dias de compostagem, equivalendo a uma redução de 32%, valor entre o obtido neste trabalho, que variou de 1,91 a 41,02 % de redução (Tabela 9).

### 5.3 pH e CONDUTIVIDADE ELÉTRICA (CE)

Os valores de pH e CE dos resíduos utilizados na compostagem estão mostrados na Tabela 10. Observa-se que o pH varia de 6,54 a 13, evidenciando a possibilidade da compostagem se iniciar em pH alcalino. Outra característica

importante a se observar é a CE da cinza, que é equivalente a  $26380 \mu\text{S cm}^{-1}$ , sendo considerada alta, fato relacionado à presença de sais e micronutrientes (GONÇALVES e MORO, 1995).

**Tabela 10** – pH e Condutividade Elétrica dos resíduos.

Resíduos	pH	Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )
Lodo de curtume	9,23	1265
Cinza	13,10	26380
Poda	6,54	722
Maravalha	8,11	154

Fonte: autoria própria.

A partir da Tabela 11 é possível observar os valores do pH ao longo do período de compostagem, bem como o resultado da análise estatística desses dados. Nota-se que dentro do mesmo período de análise os tratamentos são estatisticamente iguais.

**Tabela 11** – pH de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

Tratamento	15 DAM	30 DAM	45 DAM	60 DAM
T1	7,71 a	6,74 a	7,94 a	8,34 a
T2	7,97 a	7,44 a	7,95 a	8,21 a
T3	7,41 a	6,66 a	7,59 a	8,20 a
T4	8,12 a	8,10 a	8,33 a	8,69 a
T5	7,80 a	6,92 a	7,96 a	8,47 a
T6	8,18 a	7,55 a	8,49 a	9,06 a
T7	7,34 a	7,15 a	7,83 a	8,21 a
T8	8,50 a	8,32 a	8,21 a	9,49 a

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 2: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Ao analisar ao longo do tempo de compostagem todos os tratamentos apresentam uma queda no pH aos 30 DAM, e posteriormente ocorreu a elevação dos valores deste parâmetro.

O pH final de todos os compostos apresentou valores acima de 8,20. Karak et al. (2017), ao trabalhar com a compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano encontraram comportamento semelhante e valores na faixa de 6,71 e 7,25 após 70 dias de compostagem. A diminuição inicial no valor do pH, notada, numericamente em todos os tratamentos, ocorre devido à formação de

ácidos orgânicos como relatado por Almeida e Vilhena (2000). No decorrer do processo de degradação são liberadas bases a partir da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino (KIEHL, 1985).

Ramos et al. (2004) em estudo sobre a compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e palha de trigo observaram comportamento diferente do pH, ocorrendo um aumento durante a fase termofílica e uma acidificação durante as fases mesofílica e de maturação: iniciando-se em 9,1, atingiu 9,3 em 28 dias e finalizou (após 90 dias) em pH 8,5. Haroun et al. (2007a), em compostagem de lodo de curtume com maravalha, farelo de arroz e dejetos de frango, obtiveram pH inicial de 7,36; após 10 dias de processamento o pH foi aumentado para 7,5 e após 30 dias houve uma acidificação do meio, finalizando em 6,6.

Na Tabela 12 são apresentados os valores da condutividade elétrica (CE) ao longo do período de compostagem e sua análise estatística. Pode-se observar, analisando cada período (letras minúsculas), que em 15 DAM os tratamentos T4 e T8 se diferem estatisticamente dos demais, com valores de CE maiores devido à presença de cinza em sua composição, assim como T2. Em 30 e 45 DAM os tratamentos são semelhantes estatisticamente. Já aos 60 DAM todos os tratamentos com cinza em sua composição (T2, T4, T6 e T8) foram semelhantes com valores maiores que os demais.

**Tabela 12** – Condutividade Elétrica de cada tratamento aos 15, 30, 45 e 60 DAM (dias após montagem das leiras).

Tratamento	15 DAM	30 DAM	45 DAM	60 DAM
T1	1271 a	1885 a	1928 a	1534 b
T2	1833 b	2062 a	1103 a	1768 c
T3	1017 a	1386 a	1532 a	1169 a
T4	2234 c	2358 a	2830 a	2002 c
T5	992 a	1348 a	1435 a	1065 a
T6	1369 a	2248 a	1835 a	1745 c
T7	1133 a	1280 a	1473 a	1109 a
T8	2412 c	3190 a	2643 a	2645 c

Fonte: autoria própria.

Nota 1: Unidade [ $\mu\text{S cm}^{-1}$ ]

Nota 2: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 3: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

A CE fornece uma estimativa da quantidade de sais que estão presentes no composto (CARNEIRO et al., 2011). O aumento de sua concentração pode estar relacionado à redução da massa e do volume. Ao final deste estudo obteve-se CE

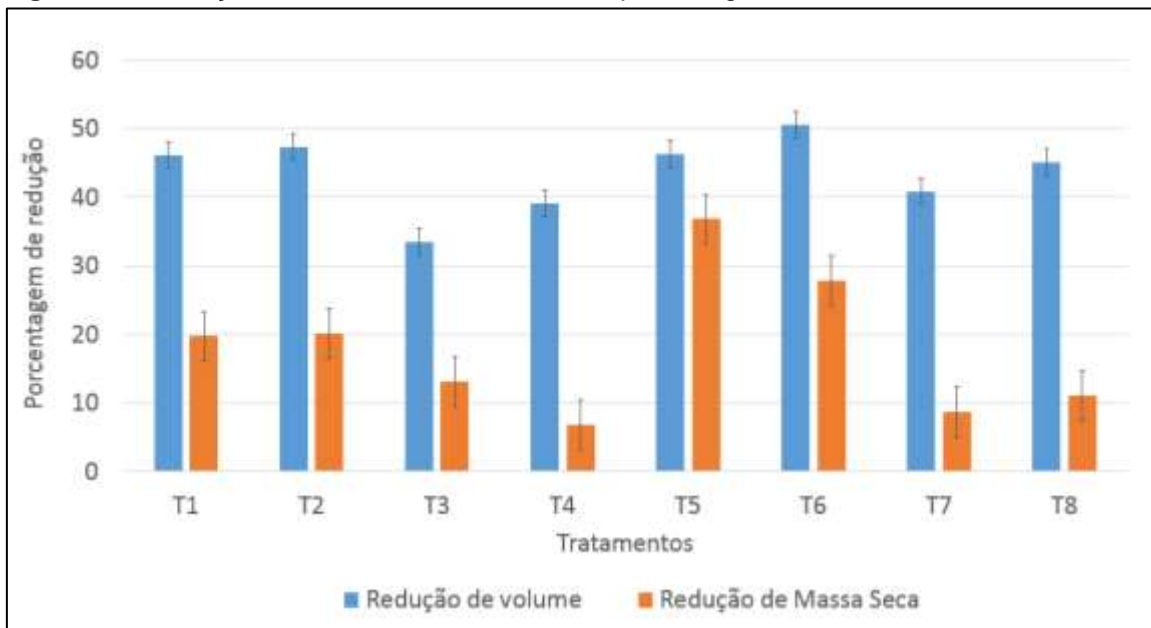


na faixa de  $1065 \mu\text{S cm}^{-1}$  (T5) a  $2645 \mu\text{S cm}^{-1}$  (T8), valores inferiores aos encontrados por Karak et al. (2017) em estudo sobre compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano, que obteve valores com média de  $3326 \mu\text{S cm}^{-1}$ . Diferentes também dos valores encontrados por Ramos et al. (2004), em estudo sobre a compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e palha de trigo, em que o composto final (após 90 dias) apresentava  $28100 \mu\text{S cm}^{-1}$ .

#### 5.4 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME

A liberação de  $\text{CO}_2$  que ocorre no processo de compostagem e a degradação da matéria orgânica implicam na redução de massa e volume das leiras (SILVA, 2007; PETRIC et al., 2009). Os dados de redução de massa e volume podem ser observados na Figura 18.

**Figura 18** – Redução de volume e massa seca, em porcentagem.



Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Conforme observado na Figura 18, ocorreu redução de volume em todos os tratamentos. Nota-se que houve maior redução de volume nos tratamentos que tinham a poda como fonte de carbono (T1, T2, T5 e T6), todos acima de 40%, nos quais também foram observadas as maiores temperaturas. Esses valores estão de acordo com o encontrado por Souza et al. (2017), que avaliaram a eficiência da

compostagem de lodo de laticínio com poda de árvore triturada, e obtiveram redução do volume de 41,81% a 45,89%.

A análise estatística dos dados de redução de massa e volume está apresentada na Tabela 13.

**Tabela 13**– Redução de volume e massa seca, em porcentagem.

Tratamento	Redução de Volume (%)	Redução de Massa seca (%)
T1	46,18 a	19,73 a
T2	47,33 a	20,13 a
T3	33,50 a	13,12 a
T4	39,08 a	6,83 a
T5	46,28 a	36,83 b
T6	50,62 a	27,88 b
T7	40,88 a	8,67 a
T8	45,14 a	11,11 a

Fonte: autoria própria.

Nota 1: letras minúsculas comparam os tratamentos em cada análise (vertical);

Nota 2: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

As letras iguais nas colunas indicam a semelhança estatística do conjunto de dados, ou seja, para a redução de volume não houve diferença a 5% de significância. Os valores de redução de volume variam de 33,5% a 50,62%, e são mais altos que os encontrados por Karak et al. (2017), em estudo sobre compostagem de lodo de curtume com dejetos bovinos e cabelo humano, com variação de 19,6% a 33,5%.

Para a redução de massa nota-se que houve diferença estatística entre os dados, sendo os tratamentos T5 e T6 os que tiveram maior redução, ambos com poda em sua composição. Tratamentos estes que também tiveram maior redução da relação C/N e alcançaram maiores temperaturas.

## 5.5 LEGISLAÇÃO REFERENTE AO REGISTRO DO COMPOSTO

Para registro do composto junto ao MAPA é necessário atender especificações que constam na Instrução Normativa SDA 25/2009 (MAPA, 2009), que aprova as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos destinados à agricultura. Para o caso do enquadramento como substratos para as plantas deve-se atender as especificações da Instrução Normativa SDA 5/2016.

Na Tabela 14 são apresentados os valores que devem ser respeitados, para enquadramento como Fertilizante orgânico misto ou composto, quanto aos parâmetros: Umidade, Nitrogênio total, Carbono Orgânico, pH e relação C/N.

**Tabela 14** – Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Garantia	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D
Umidade (máx.)	50	50	50	70
N total (mín.)	0,5			
Carbono orgânico (mín.)	15			
pH (mín.)	6	6	6,5	6
Relação C/N (máx.)	20			

Fonte: MAPA, 2009.

Nota1: valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C.

A umidade do composto final pode ser observada na Tabela 15. Apenas os tratamentos T3 e T8 não estão dentro do limite proposto pela legislação. Porém, isso pode ser facilmente corrigido a partir da intensificação de revolvimentos e exposição do composto ao sol, visto que o teor excedido não é muito expressivo (0,52% e 2,15%, respectivamente).

**Tabela 15** – Quadro resumo dos resultados finais obtidos para cada tratamento.

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
Redução de Volume (%)	46,18	47,33	33,50	39,08	46,28	50,62	40,88	45,14
Redução de Massa Seca (%)	19,73	20,13	13,12	6,83	36,83	27,88	8,67	11,11
Umidade (%)	48,18	39,50	50,52	43,33	49,9	48,21	49,12	52,15
pH final	8,34	8,21	8,20	8,69	8,47	9,06	8,21	9,49
C.E. final	1534,00	1768,00	1169,00	2002,00	1065,00	1745,00	1109,00	2645,00
% final Carbono Orgânico Total	14,40	10,90	19,30	11,40	21,50	14,90	20,80	11,50
% final Nitrogênio Total	1,56	1,19	1,36	0,94	1,98	1,48	1,35	0,67
% final Fósforo Total	0,56	1,50	0,27	1,03	0,40	1,13	0,28	0,43
% final Potássio Solúvel	0,49	1,27	0,32	0,72	0,67	0,96	0,43	1,04
Relação C/N final	9,40	9,20	14,20	12,20	10,90	10,00	15,40	17,10

Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Os teores de nitrogênio total dos compostos obtidos após 60 dias apresentaram valores compreendidos entre 0,67% e 1,98%, valores acima do mínimo requerido pela norma. Já para o carbono orgânico total, apenas os tratamentos T3, T5 e T7 estão de acordo com as especificações, possuindo 19,3, 21,5 e 20,8% no composto final, respectivamente.

O pH dos compostos obtidos são todos alcalinos, sendo o menor 8,20. E para a relação C/N não houve casos de valores superiores a 20. Portanto, para estes parâmetros todos tratamentos apresentaram compostos adequados.

Nota-se, por fim, que apenas os tratamentos T5 e T7 atendem todos critérios necessários para registro do composto segundo a Instrução Normativa SDA 25/2009, podendo ser classificados como “Fertilizante Orgânico Composto Classe B”, que são fertilizantes orgânicos que utilizam matéria-prima oriunda da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Para classificação do composto como substrato deve-se apresentar as garantias de condutividade elétrica, pH, umidade, densidade e capacidade de retenção de água, conforme a Instrução Normativa SDA 5/2016 (MAPA, 2016). Com os parâmetros obtidos neste estudo, pode-se afirmar que há a possibilidade do composto ser classificado como “Substrato para plantas Classe B”, havendo a necessidade de realizar as análises de densidade e capacidade de retenção de água para confirmação.

A Instrução Normativa SDA 27/2006 (MAPA, 2006) refere-se às concentrações máximas permitidas para agentes fitotóxicos, patógenos, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninha. No presente estudo não foi realizada nenhuma análise destes parâmetros. Portanto, para registro do composto como fertilizante orgânico ou substrato, faz-se necessário o atendimento desta norma.

Na Tabela 15 pode-se observar que a porcentagem de fósforo total, nos compostos ao final do processo, variou de 0,28 a 1,5. Já para o potássio houve variação de 0,43 a 1,27%. Para o registro do composto não é exigido a presença de macronutrientes, mas o fornecimento destes para as plantas é desejado, agregando valor ao produto.

## 5.6 ASPECTO DO MATERIAL

É possível observar na Figura 19 as leiras no dia da montagem, bem como a diferença entre elas devido à sua fonte de carbono.

**Figura 19** – Registro fotográfico no dia da montagem das leiras.

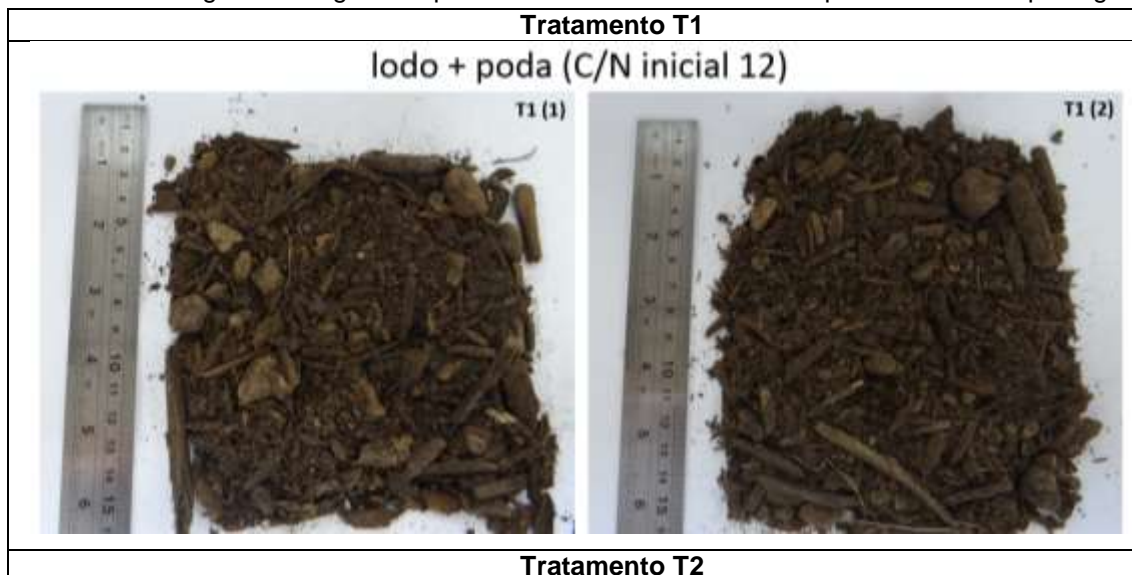


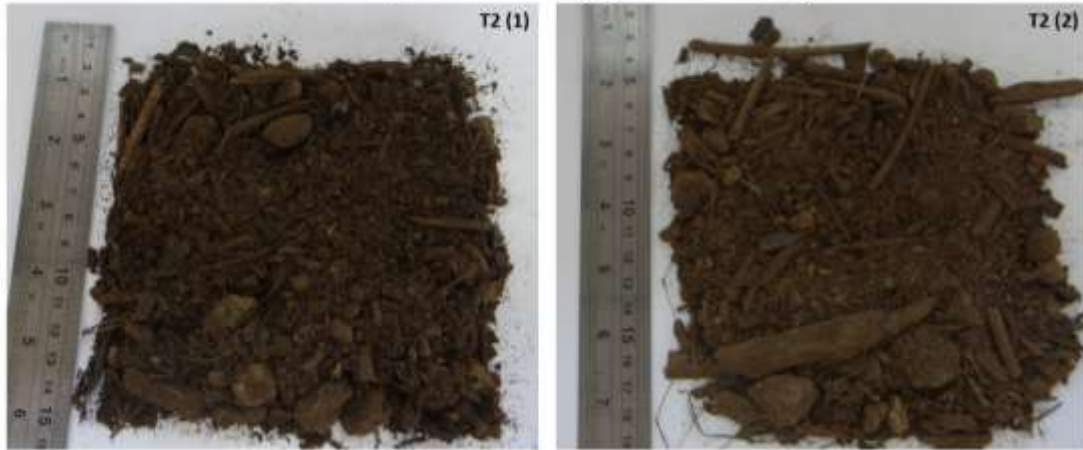
Fonte: autoria própria.

Nota 1: T1: lodo + poda (C/N 12), T2: lodo + poda + cinza (C/N 12), T3: lodo + maravalha (C/N 12), T4: lodo + maravalha + cinza (C/N 12), T5: lodo + poda (C/N 16), T6: lodo + poda + cinza (C/N 16), T7: lodo + maravalha (C/N 16), T8: lodo + maravalha + cinza (C/N 16).

Para a realização da análise qualitativa da descaracterização do material após a compostagem, foram registradas fotografias ao final do processo (Quadro 5).

**Quadro 5** – Registros fotográficos para cada tratamento ao final do processo de compostagem.



**lodo + poda + cinza (C/N inicial 12)****Tratamento T3****lodo + maravalha (C/N inicial 12)****Tratamento T4****lodo + maravalha + cinza (C/N inicial 12)****Tratamento T5**

**lodo + poda (C/N inicial 16)**



**Tratamento T6**

**lodo + poda + cinza (C/N inicial 16)**



**Tratamento T7**

**lodo + maravalha (C/N inicial 16)**



**Tratamento T8**



Fonte: autoria própria.

Os tratamentos T1, T2, T5 e T6 (que tinham em sua composição a poda de árvore triturada como fonte de carbono) apresentaram coloração, textura e granulometria diferentes das características do material de origem. Ainda era perceptível a presença de alguns pedaços de galhos de árvore de 4,5 a 5 cm de comprimento máximo, fato que é comum devido à lignina e celulose presentes na poda, que são complexos de difícil degradação (PARADELO et al., 2012). Taiatele Junior et al. (2017), em pesquisa sobre a compostabilidade de embalagens biodegradáveis no tratamento de resíduos orgânicos domiciliares com poda de árvore, também relatou este comportamento. Já os tratamentos que receberam maravalha como fonte de carbono (T3, T4, T7 e T8) foram menos eficientes na descaracterização do material, havendo semelhanças físicas dos compostos finais com a fonte de carbono (que compreendia maior parte do total).



## 6 CONCLUSÕES

A partir deste estudo conclui-se que:

- O pH de todos tratamentos foi alcalino ao final da compostagem, o que indica a possibilidade de aplicação do composto para tamponamento do solo;
- Apenas o tratamento T5 atingiu temperatura superior a 55°C, indicando uma possível sanitização dos resíduos;
- A Condutividade Elétrica não teve variações significativas ao longo do tempo;
- Os tratamentos com poda em sua composição foram mais eficientes na redução da relação C/N;
- Todos os tratamentos sofreram redução de volume e massa, com destaque para T5 e T6;
- A descaracterização do material foi mais intensa nos tratamentos com poda de árvore (T1, T2, T5 e T6);
- De acordo com as exigências do MAPA, pode-se concluir que apenas os tratamentos T5 e T7 podem ser classificados como “Fertilizantes Orgânicos Classe B”.
- A presença da cinza de caldeira influenciou negativamente o processo de compostagem quanto aos parâmetros: temperatura e Carbono Orgânico Total. Já para os outros parâmetros avaliados a presença da cinza não apresentou diferença significativa. Portanto, é recomendado que este resíduo seja incorporado ao composto final, visto seus benefícios quanto à qualidade agronômica.
- Analisando o conjunto de parâmetros monitorados no presente estudo os tratamentos mais eficientes foram T5 e T6, sendo, então, 16/1 a relação C/N ideal para iniciar a compostagem do lodo de ribeira, e a melhor fonte de carbono é a poda de árvore.

## REFERÊNCIAS

ABDI. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Relatório de acompanhamento setorial: Indústria de couro**. 44p. 2011.

AHMED et al. **Physicochemical characterization of compost of the industrial tannery sludge**. Journal of Engineering Science and Technology Vol. 2, p. 81-94. 2007.

AKINCI, G. et al. **Composting and Beneficial Use of Tannery Wastewater Treatment Sludges**. Conference Paper. In: XXXII Congress of UILTCS, At Istanbul, Turkey. 2013.

ALCANTARA, M.A.K.et al. **Mineralização do nitrogênio em solos tratados com lodos de curtume**. Pesquisa agropecuária brasileira, Brasília, v. 42, n. 4, p. 547-555, 2007. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-204X2007000400013&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-204X2007000400013&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 01 Mar. 2018.

ALMEIDA, M. L.O.; VILHENA, A. **Lixo municipal: Manual de gerenciamento integrado**. 2 ed. IPT/CEMPRE, São Paulo. p. 370, 2000.

AMORIM, D. A; et al. **O Processo de Desenvolvimento nas Indústrias de laticínios**. Sistema de Ensino Presencial Conectado do Curso Gestão Ambiental, Universidade do Norte do Paraná, Espinosa. 2011.

ANDRADE, F.C. et al. "**Compostagem de resíduos agrícolas**", p. 135 -158. In: DAL BOSCO, T.C. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

ANDREOLI, C. V. et al. **Uso de lodo de esgoto na produção de substrato vegetal**. 398 p. 2006.

ANDREOLI, C.V. et al. **Higienização do Lodo de Esgoto – Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final**. In: Andreoli, C. V. Lodo de Esgoto. Rio de Janeiro: ABES, 2001.

APHA. AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

AQUIM, P. M. **Gestão em curtumes: uso integrado e eficiente da água**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 146p. 2009.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O. A. **Crescimento e acúmulo de crômio em alface cultivada em dois Latossolos tratados com CrCl<sub>3</sub> e resíduo de curtume**. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.24, n.1, p.225-235, 2000.

ARAÚJO, A.S.F. et al. **Effect of composted textile sludge on growth, nodulation and nitrogen fixation of soybean and cowpea**. Bioresource Technlogy. v.97, p. 1028-1032. 2007.

ARAÚJO, F.F. **Disponibilização de fósforo, correção do solo, teores foliares e rendimento de milho após a incorporação de fosfatos e lodo de curtume natural e compostado.** Acta Scientiarum. 2011.

AUGUSTINI, C. B. **Isolamento microbiano na biodegradação de resíduos de curtume.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção.** 204f. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CARMO, D. L.; SILVA, C. A. **Métodos de Quantificação de Carbono e Matéria Orgânica em Resíduos Orgânicos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, p. 1211-1220, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v36n4/15.pdf>>. Acesso em: 20 Abr. 2018.

CARNEIRO, L. J. et al. **Balanço de sais provenientes da aplicação de água residuária de suinocultura em quatro ciclos de cultura.** Revista Meio Ambiente e Agronegócio. v. 4, n. 3, p. 481-499, 2011.

CASTILHOS, D.D.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. **Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e crômio hexavalente.** Revista Brasileira de Ciências do Solo. 1083-1092, 2002.

CAVALLET, L. E.; SELBACH, P. A. **Populações microbianas em solo agrícola sob aplicação de lodos de curtume.** Revista Brasileira Ciências do Solo, Viçosa, v. 32, p. 2863-2869, 2008 Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S010006832008000700033&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010006832008000700033&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 01 Mar. 2018.

CENTRO DAS INDÚSTRIAS DE COURO DO BRASIL. **Exportações brasileiras de couros e peles.** 2018. Disponível em: <<http://cicb.org.br/storage/files/repositories/phpSXX1pT-total-exp-abr18-vr.pdf>>. Acesso em: 22 mar. 2018.

CERNE. **Exemplo de sensor de temperatura.** Fotografia, color. Disponível em: <<https://www.cernecomponenteeletronico.com.br/loja/sensor-de-temperatura-ds18b20-waterproof-p-arduino>>. Acesso em: 22 Abr. 2018.

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume.** Porto Alegre: Senai. 664p. 1994.

COSTA, M.S.S.M. et al. **Compostagem de resíduos da indústria de desfibriliação de algodão.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.25, n.2, p.540-548, 2005a.

COSTA, M.S.S.M. et al. **Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves.** Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal. v.25, n.2, p.549-556 2005b.

DAL BOSCO, T.C et al. **The ideal frequency of temperature data collection in compostability experiments on domestic organic residues.** Environmental Technology, 2018.

DETTMER, A. **Seleção, isolamento e otimização dos meios de cultivo de microrganismos produtores de enzimas para aplicação ao processamento de peles na etapa de depilação/ caleiro.** Tese de Doutorado, UFRGS, Porto Alegre. 2012.

EMBRAPA. **Aula: A eficiência do processo de compostagem.** Material fornecido no curso de XXXXXXXX. 21p. 2018.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

FERREIRA, A. S. et al. **Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 4, p. 755-763, 2003. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832003000400020&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000400020&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 01 Mar. 2018.

FIALHO, L.L. **Caracterização da matéria orgânica em processo de compostagem por métodos convencionais e espectroscópicos.** Tese (Doutorado em Ciências – Química Analítica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 170f. 2007.

GONÇALVES, I.C.R, et al. **Biomassa microbiana do solo após dois anos de aplicação consecutivas de lodo de curtume compostado.** Acta Scientiarum. 2014.

GONÇALVES, J. L. de M.; MORO, L.; **Uso da “cinza” de biomassa florestal como fonte de nutrientes em povoamentos puros de *Eucalyptus grandis*.** p. 28-37, 1995.

HAHN, L.; PADILHA, M.T.S.; PADILHA, J.C.F.; POLI, A.; RIEFF, G.G. **Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário** Archivos de zootecnia vol.61 no.234 Córdoba jun. 2012.

HAROUN, M. et al. **Characterization and Composting of Tannery Sludge.** Malaysian Journal of Soil Science v.11, p. 71-80 2007a.

HAROUN, M. et al. **A study of heavy metals and their fate in the composting of tannery sludge.** Waste Management. p. 1541–1550. 2007b.

HASSEN, A. et al. **Microbial characterization during composting of municipal solid waste.** *Bioresource Technology*, Barking, v.80, p.217-25, 2001.

HECK, K. et al. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.17, n.1, p.54-59, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Efetivo de rebanhos, por tipo (cabeças)**. 2017a. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html?=&t=destaques>>. Acesso em: 24 Abr. 2018.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estatística da Produção Pecuária**. p.28, 2017b. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp\\_2017\\_set.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2017_set.pdf)>. Acesso em: 12 Mar. 2018.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 156 p. 2009.

KARAK, T. et al. **Co-composting of cow dung, municipal solid waste, roadside pond sediment and tannery sludge: role of human hair**. 2017. Int. J. Environ. Sci. Technol.14: 577. 2017.

KIEHL, E. J. **500 perguntas e respostas**. 1 ed. Piracicaba. Agronômica Ceres Ltda, 227p. 2008.

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

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ªed. Piracicaba. 173p. 2004.

LABORGLAS. **Exemplo de balde volumétrico**. Fotografia, color. Disponível em: <<http://laborglas.com.br/produtos/acessorios/balde-em-pp-graduado>>. Acesso em: 29 Abr. 2018.

LIMA JUNIOR, R.G.S. et al. **Avaliação de novas práticas de compostagem em pequena escala com aproveitamento energético**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.22, n.2, 2017.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº5, de 10 de março de 2016. **Ficam estabelecidas as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 10 mar. 2016.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº25, de 23 de julho de 2009. **Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 28 jul. 2009.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº27, de 5 de junho de 2006. **Refe-se às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas**. Diário Oficial da União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 5 jun. 2006.

MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **“Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos”**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília-DF. 2017.

MARTINES, A. M.; ANDRADE, C. A.; CARDOSO, E. J. B. N. **Mineralização do carbono orgânico em solos tratados com lodo de curtume**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Brasília, v.41, n.7, p.1149-1155. 2006.

MARTINES, A. M. **Avaliação ambiental e agrônômica do uso de lodo de curtume no solo**. Tese (Doutorado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 84p. 2009.

MARTINES, A. M. **Impacto do lodo de curtume nos atributos biológicos e químicos do solo**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 62p. 2005.

MASSUKADO, L.M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 204 f. 2008.

MICHELS, R. N. et al. **"Importância da automação e da estatística no processo de compostagem"**, p. 241 -254. In: DAL BOSCO, T. C. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

MILLER, F.C. **Composting as a process base don the control of ecologically selective factors**. In: Meeting, F.B. Soil Microb. Ecol. p.515- 543. 1992.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília – DF. 2010.  
Disponível em:  
<[http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu\\_urbano/\\_arquivos/3\\_manual\\_implantao\\_compostagem\\_coleta\\_seletiva\\_cp\\_125.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/srhu_urbano/_arquivos/3_manual_implantao_compostagem_coleta_seletiva_cp_125.pdf)>. Acesso em: 20 Abr. 2018.

MONDINI, C., FORNASIER, F.; SINICCO, T. **Enzymatic Activity as a parameter for the characterization of the composting process**. Soil Biol. Biochem.1587-1594. 2004.

MOURA, A. R. et al. **Indústria de curtume**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2014.

ORRICO JUNIOR, M.A.P. et al. **Compostagem dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta**. Revista Brasileira de Zootecnia, v.41, n.5, p.1301-1307, 2012.

PACHECO, J. W. F. **Curtumes**. São Paulo. CETESB. 76 p. 2005.

PASSIANOTO, C. C.; RODRIGUES, C. G. **Efeito de adição de lodo de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção**

- de nutrientes em soja.** Revista Brasileira de Agrociência. Pelotas, v. 7, p. 189-191, 2001.
- PARADELO, R. et al. **Evolution of organic matter during the mesophilic composting of lignocellulosic winery wastes.** Journal of Environmental Management, v. 116, p. 18-26, 2012.
- PASSOS, J. B. **Reúso da água: uma proposta de redução do consumo de água em curtumes.** 99p. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.
- PEDROSA, T.D. et al. **Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais.** Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais. 2013.
- PEREIRA, L.A.A.; FIALHO, M.L. **Gestão da sustentabilidade: compostagem otimizada em resíduos sólidos orgânicos com a utilização de metodologia enzimática na implantação de uma usina de compostagem de lixo no município de Santa Juliana/MG.** Int. J. Knowl. Eng. Manage. Florianópolis, v.2, n.2, p.52-85, 2013.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** Viçosa – MG. Universidade Federal de Viçosa. 2007.
- PEREIRA NETO, J.T. **Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas.** In: Conferência sobre agricultura e meio ambiente. Viçosa: UFV-NEPEMA. p.61-74. 1994.
- PETRIC. I. et al. **Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure.** Process Safety and Environmental Protection, v.87, p.206-212, 2009.
- POSSATO, E. L. et al. **Chemical attributes of a cambisol and growth of eucalyptus seedling after the addition of tannery sludge containing chromium.** Revista Árvore, 38(5), 847-856. 2014.
- PRESUMIDO, P. H. et al. **"Gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos em aeroporto"**, p. 225 -240. In: DAL BOSCO, T. C. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.
- RAMOS, S.M.C. et al. **Composting of tannery effluent with cow manure and wheat straw.** Bioresource Technology. Vol.94, pag. 223-228. 2004.
- REBOLLIDO, R. et al. **Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste.** Applied Ecology and Environmental Research, v.6, p.61-67, 2008.
- RODRIGUES, M.S. et al. **Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos.** IN: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF. Botucatu. p. 63-94. 2006.

RODRIGUES, V. C. et al. **Produção de Minhocas e Composição Mineral do Vermicomposto e das Fezes Procedentes de Bubalinos e Bovinos.** Ciência e Agrotecnologia, v.27, n.6, p.1409-1418, 2003.

SANTOS, A. M. M. M. et al. **Panorama do setor de couro no Brasil.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n.16, p.57-84. 2002

SANTOS, J. A. **Compostagem do lodo de curtume e seu uso agrícola: efeito sobre indicadores biológicos de qualidade do solo.** Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Piauí, Teresina. 77p., 2010.

SBIZARRO, M. et al. "**Tratamento de dejetos ovinos, bovinos e palha-de-açúcar via vermicompostagem**", p. 45 -68. In: BOSCO, Tatiane Cristina Dal. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

SHUKLA, O. P. et al. **Involvement and interaction of microbial communities in the transformation and stabilization of chromium during the composting of tannery effluent treated biomass of *Vallisneria spiralis* L.** Bioresource Technology. Vol. 100, p. 2198-2203. 2009.

SINGH, N. B.; SINGH, R.; IMAM, M. M.; **Waste water management in dairy industry: pollution abatement and preventive attitudes.** International Journal of Science. v.3, n. 2, p. 672-683. 2014.

SILVA, M. D. M. et al. **Heavy me-tals in cowpea (*Vigna unguiculata* L.) after tannery sludge compost amendemt.** Chilean Journal of Agricultural. 2013.

SILVA, J.D.C. et al. **Emergência e crescimento inicial de plântulas de pimenta ornamental e celosia em substrato à base de composto de lodo de curtume.** Cienc. Rural, Santa Maria, v.41, n.3, p.412-417. 2011.

SILVA, L.N. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais.** Dissertação (mestrado. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel. 59f. 2007.

SOUZA, A. V. D. et al. "**Pré-compostagem e vermicompostagem de lodo biológico de laticínio**" In: Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, p. 159 -190. 2017.

TAIATELE JUNIOR, I. et al. "**Compostabilidade de embalagens biodegradáveis**", p. 109 -134" In: DAL BOSCO, T.C. Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, 2017.

TEDESCO, M.J. et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**, 2. ed. Porto Alegre, UFRGS, 174 p. 1995.

TEIXEIRA, K.R.G. et al. **Efeito do lodo de curtume sobre a nodulação e a produção de matéria seca em caupi.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Embrapa Solos. UEP-Recife. 2005.



THOMSEN, I.K. **C and N transformations in (15)N cross-labelled solid ruminant manure during anaerobic and aerobic storage.** Bioresource Technology, v.72, p. 267-274, 2000.

TIQUIA, S. M.; TAM, N. F. Y.; HODGKISS, I. J. **Effects of turning frequency on composting of spent pigmanure sawdust litter.** Bioresource Technology, v. 62, n. 1-2, p. 37-42, 1997.

TIQUIA, S.M.; TAM, N.F.Y.; HODGKISS, I.J. **Salmonella elimination during composting of spent pig litter.** Bioresource Technol. 193- 196. 1998.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. **Compost Microorganisms – The Phases of Composting.** In: Cornell Composting, Science & Engineering. 2005.

VALENTE, B. S. et al. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de residuos organicos.** Archivos de Zootecnia. v.58. p.60-76, 2009.

VIG, A.P. et al. **Vermicomposting of tannery sludge mixed with cattle dung into valuable manure using earthworm *Eisenia fetida* (Savigny).** Bioresour Technol 7941–7945. 2011.

ZHANG Y.; HE Y. **Co-compostig solid swine manure with pine sawdust as organic substrate.** Bioresource Technol. p. 2024- 2031, 2006.